

## **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

### **ZJIŠŤOVÁNÍ Vlivu PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU A TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ KONSTRUKČNÍ OCELI**

#### **EFFECT DETERMINATION OF THE PROCEDURAL LIQUIDS INFLUENCE MODIFYING THE QUALITY OF MACHINED SURFACE AND TOOL DURABILITY IN THE PROCESS OF DRILLING STRUCTURAL STEEL**

**KOM - 1231**

***Oskar Krejčí***

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Počet stran:

61

Počet příloh:

3

Počet tabulek:

9

Počet obrázků:

50

Počet diagramů:

5

24.5.2013

**ZJIŠŤOVÁNÍ Vlivu PROCESNÍCH KAPALIN NA JAKOST  
OBROBENÉHO POVRCHU A TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI VRTÁNÍ  
KONSTRUKČNÍ OCELI**

**ANOTACE:**

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem procesních kapalin na technologii obrábění řezáním. Jsou zde shrnuty jak literární poznatky o procesních kapalinách, trvanlivosti řezných nástrojů, tak parametry drsnosti povrchu. V experimentální části práce byl prokázán značný vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje a mikrogeometrii obrobeného povrchu při vrtání konstrukční oceli.

**EFFECT DETERMINATION OF THE PROCEDURAL LIQUIDS  
INFLUENCE MODIFYING THE QUALITY OF MACHINED SURFACE  
AND TOOL DURABILITY IN THE PROCESS OF DRILLING  
STRUCTURAL STEEL**

**ANNOTATION:**

This bachelor thesis deals with an issue of procedural liquids influence on the technology of machining. There are defined the literature procedural liquids knowledge and durability of cutting tools as well as the surface roughness parameters. In the experimental part of the thesis has been proved a significant procedural liquids' influence on the tool durability and micro geometry machined surface in a process of drilling structural steel.

Klíčová slova: OBRÁBĚNÍ, PROCESNÍ KAPALINY, VRTÁNÍ

Zpracovatel:	TU v Liberci, KOM
Dokončeno:	2013
Archivní označ. zprávy:	.....
Počet stran:	61
Počet příloh:	3
Počet tabulek:	9
Počet obrázků:	50
Počet diagramů:	5

## ***MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ***

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Obsah.....	- 5 -
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	- 7 -
1 Úvod .....	- 9 -
2 Fyzikální zákonitosti obrábění řezáním.....	- 10 -
2.1 Mechanika tvoření třísky .....	- 10 -
2.2 Tepelná bilance řezného procesu.....	- 11 -
3 Řezné prostředí a procesní kapaliny .....	- 12 -
3.1 Technologické požadavky na řezné prostředí .....	- 12 -
3.2 Vliv řezného prostředí na proces řezání .....	- 17 -
3.3 Rozdělení procesních kapalin.....	- 20 -
3.4 Přívod procesní kapaliny do místa řezu.....	- 22 -
3.5 Opotřebení a trvanlivost řezných nástrojů.....	- 23 -
3.6 Mechanismy opotřebení .....	- 23 -
3.7 Klasifikace typů opotřebení.....	- 25 -
3.8 Kvantifikace opotřebení .....	- 27 -
3.9 Trvanlivost nástroje .....	- 27 -
3.10 Závislost trvanlivosti břitu nástroje na řezných podmínkách.....	- 28 -
4 Parametry drsnosti povrchu .....	- 30 -
4.1 Vybrané obecné termíny.....	- 30 -
4.2 Definice parametrů drsnosti povrchu .....	- 31 -
4.3 Metody měření drsnosti povrchu.....	- 32 -
5 Charakteristika použitého vybavení .....	- 33 -
5.1 Frézka FNG 32 .....	- 33 -
5.2 Vrtací nástroj .....	- 34 -
5.3 Čerpací jednotka EmP .....	- 34 -
5.4 Refraktometr Optech Brix .....	- 35 -
5.5 Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000N2 .....	- 35 -
5.6 Stereoskopický mikroskop Arsenal SZP 3112–T.....	- 36 -
5.7 Pracoviště vizuální kontroly .....	- 36 -
6 Vlastní řešení .....	- 37 -
6.1 Příprava vzorku a pracoviště pro experiment.....	- 37 -
6.2 Použité procesní kapaliny .....	- 38 -
6.3 Metodika určování trvanlivosti.....	- 42 -

6.4	Metodika určování drsnosti povrchu .....	- 47 -
7	Vyhodnocení experimentů.....	- 51 -
7.1	Vyhodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.....	- 51 -
7.2	Porovnání procesních kapalin z hlediska dosažené drsnosti .....	- 52 -
7.3	Další výsledky experimentu .....	- 55 -
8	Závěr.....	- 56 -
	Seznam použité literatury .....	- 59 -
	Přílohy: .....	- 62 -

**Seznam použitých zkratk a symbolů**

$a_1$	[mm]	tloušťka odříznuté třísky
$a_p$	[mm]	hloubka řezu
$C_T$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
$c_{tp50}$	[ $\mu\text{m}$ ]	nosní podíl profilu
$C_{Tv}$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
$D$	[mm]	průměr vrtáku
$E_e$	[J]	práce řezného procesu
$f$	[mm.min <sup>-1</sup> ]	posuv za minutu
$F_c$	[N]	řezná síla
$F_f$	[N]	pasivní síla (posuvová)
$h$	[mm]	výška vzorku
$KB$	[mm]	šířka žlábků opotřebení čela
$KM$	[mm]	poloha středu žlábků opotřebení čela
$KT$	[mm]	hloubka žlábků opotřebení čela
$l$	[mm]	délka řezné části vrtáku
$l_n$	[mm]	vyhodnocovaná délka
$l_r$	[mm]	základní délka drsnosti
$L_v$	[mm]	délka vrtáku
$m$	[-]	exponent Taylorova vztahu
$N$	[-]	počet děr
$O_{PO}$	[mm]	opotřebení příčného ostří
$O_{POkr}$	[mm]	opotřebení příčného ostří kritériální
$O_{VH}$	[mm]	opotřebení vedlejšího hřbetu
$O_{VHkr}$	[mm]	opotřebení vedlejšího hřbetu kritériální
$P_t$	[ $\mu\text{m}$ ]	celková výška profilu
$Q_e$	[J]	teplo řezného procesu
$Q_n$	[J]	teplo odvedené nástrojem
$Q_o$	[J]	teplo odvedené obrobkem
$Q_{pd}$	[J]	teplo vzniklé v oblasti střižné roviny
$Q_{pr}$	[J]	teplo odvedené řezným prostředím
$Q_t$	[J]	teplo odvedené třískou
$Q_\alpha$	[J]	teplo vzniklé v oblasti dotyku nástroje s obráběnou plochou

$Q_\gamma$	[J]	teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje
$R_a$	[ $\mu\text{m}$ ]	průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti
$R_t$	[ $\mu\text{m}$ ]	celková výška profilu drsnosti
$R_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	největší výška profilu drsnosti
$s$	[ $\mu\text{m}$ ]	normalizovaná odchylka
symbol	jednotka	název
$t$	[-]	koeficient
$T$	[min]	trvanlivost nástroje
$t$	[s]	čas
$VB$	[mm]	opotřebení hřbetu průměrné
$VB_C$	[mm]	opotřebení hřbetu v oblasti špičky
$VB_k$	[mm]	kriteriální hodnota opotřebení hřbetu
$VB_{\max}$	[mm]	opotřebení hřbetu maximální
$VB_N$	[mm]	opotřebení hřbetu vrubové
$v_c$	[ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	řezná rychlost
$VR$	[mm]	radiální opotřebení špičky
$W_t$	[ $\mu\text{m}$ ]	celková výška profilu vlnitosti
$\bar{x}$	[ $\mu\text{m}$ ]	střední hodnota (průměrná hodnota)
$\bar{x}_{\max}$	[ $\mu\text{m}$ ]	horní limit statistického intervalu
$\bar{x}_{\min}$	[ $\mu\text{m}$ ]	dolní limit statistického intervalu
$x_T$	[-]	exponent Taylorova vztahu
$y_T$	[-]	exponent Taylorova vztahu
$\beta_1$	[°]	úhel střižné roviny
$\kappa_r$	[°]	úhel nastavení
$\lambda_c$	[mm]	filtr profilu
$\xi$	[-]	součinitel přechování třísky

## 1 Úvod

Obrábění se vždy odehrává v určitém řezném prostředí, které svými vlastnostmi ovlivňuje hospodárnost řezného procesu. Použitím procesních kapalin lze zvýšit hospodárnost o 50 až 100% než při obrábění „za sucha“ a současně dosáhnout vyšší jakosti obrobené plochy obrobku [1], [2].

Procesních kapalin při obrábění je využíváno hlavně pro jejich chladicí a mazací účinek [3].

Bakalářská práce se zabývá porovnáním vlivu procesních kapalin na technologii vrtání konstrukční oceli při konstantních řezných podmínkách.

Cílem bakalářské práce je:

- shrnutí literárních poznatků o procesních kapalinách a jejich vlivu na technologii obrábění,
- shrnutí literárních poznatků o určování trvanlivosti nástrojů a metodách hodnocení parametrů drsnosti povrchu,
- porovnání vlivu různých procesních kapalin na trvanlivost nástroje při procesu vrtání konstrukční oceli,
- porovnání vlivu různých procesních kapalin z hlediska dosažené drsnosti povrchu při vrtání konstrukční oceli.

V rámci řešení bakalářské práce byly použity následující procesní kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.0F, ESOK 1.1B, ESOK 1.1D, Paramo EOPS 1030 (polosyntetická kapalina), Blaser Grindex 10 (syntetická kapalina), Blaser Vasco 1000 (emulzní kapalina), Blasocut BC 35 Kombi (polosyntetická kapalina), Houghton HOCUT 795-B (emulzní kapalina), Cimcool Cimstar 620 (polosyntetická kapalina) a voda. Látky označené jako „ESOK“ jsou experimentální syntetické kapaliny od společnosti Paramo, a. s.

Souběžně s touto prací se zkoumal vliv stejných procesních kapalin na proces vrtání nerezové oceli v diplomové práci Bc. Milana Karáska.

Tato bakalářská práce souvisí s řešením projektu TA02021332, který je realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím TAČR.

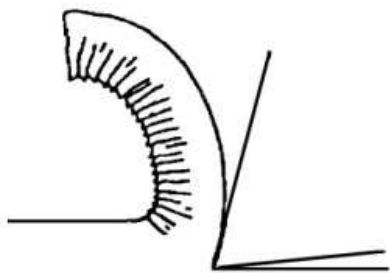


## 2 Fyzikální zákonitosti obrábění řezáním

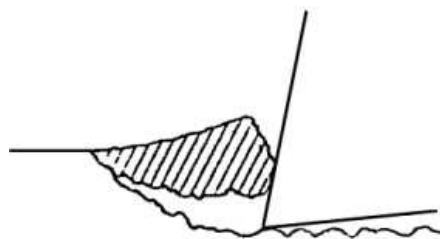
Princip obrábění řezáním je založen na vzájemném pohybu bříty nástroje a obráběného materiálu. Důsledkem tohoto pohybu je vnikání bříty nástroje do obrobku. Vzájemným silovým působením se materiál obrobku odděluje ve formě třísek [2].

### 2.1 Mechanika tvoření třísky

Charakter řezného procesu a tím i vytvářené třísky je závislý hlavně na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a na řezných podmínkách, především řezné rychlosti. Vnikáním bříty nástroje do krystalického materiálu obrobku se vytváří v oblasti řezu plastické deformace, které mají za následek vznik tvářené třísky (obr. 1). U nekrytalických látek jako je např.: sklo, některé plasty, dřevo apod. se odděluje tříska křehkým lomem nebo štěpením, není plasticky deformována a nazývá se netvářená (obr. 2). Pro technickou praxi, hlavně však s ohledem na namáhání a opotřebení bříty nástroje, je významný především mechanismus vzniku tvářených třísek [4].



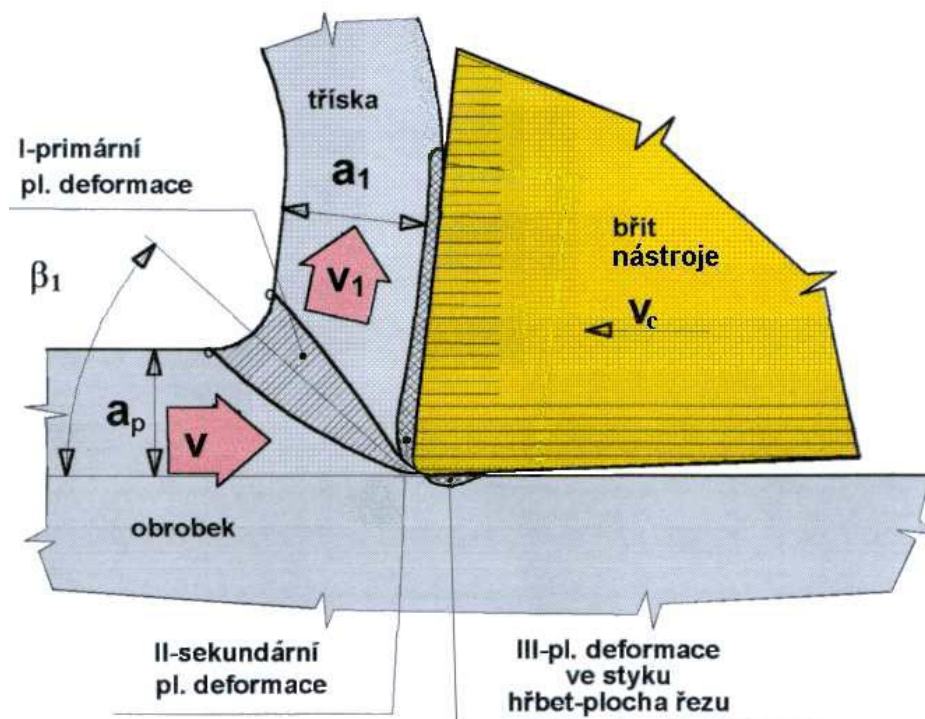
Obr. 1. Tvářená tříska [5]



Obr. 2. Netvářená tříska [5]

Plastické deformace se při tvorbě tvářených třísek nalézají ve třech oblastech (obr. 3). Oblast primárních plastických deformací se nachází v odřezávané vrstvě, sekundární plastické deformace vznikají zabrzděním povrchových vrstev třísky vlivem tření o čelo nástroje a v důsledku zaoblení bříty nástroje je část povrchové vrstvy vtlačována do materiálu, přičemž vznikají terciární plastické deformace v povrchové vrstvě obrobku [4], [5].

Poznatky o plastických deformacích, tvorbě nárůstku a dalších fyzikálních mechanismech procesu obrábění řezáním jsou k nalezení v literatuře [2] a [7].



Obr. 3. Oblasti vzniku plastických deformací při obrábění řezáním (dle [5])

## 2.2 Tepelná bilance řezného procesu

Sledování tepelných jevů při řezání je významné, jelikož většina nástrojů ztrácí svoje řezné schopnosti s rostoucím účinkem teploty. U tepelně ovlivněného obrobku se také snižuje přesnost geometrických rozměrů a jakost obrobeného povrchu.

Množství tepla, které vzniká z mechanické energie spotřebované na řezání, se určuje pomocí *kalorimetrických rovnic* (rov. 1). Během obrábění se prakticky všechna práce řezného procesu  $E_e$  (asi 99,5%) přemění na teplo řezného procesu  $Q_e$ , takže platí  $E_e \approx Q_e$ . Hlavní zdroje tepla jsou v oblasti střižné roviny při tvoření třísky, na čele nástroje vlivem tření a sekundární plastické deformace a v oblasti dotyku nástroje s obráběnou plochou vlivem tření (obr. 4).

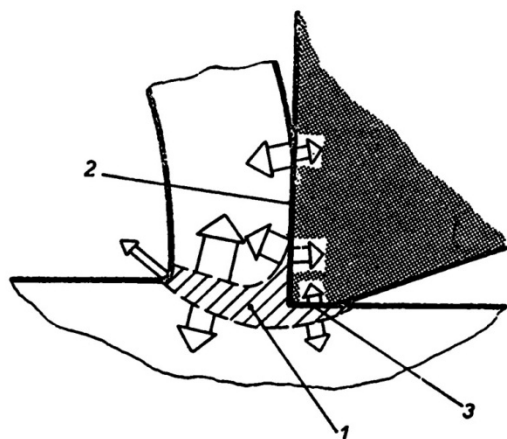
$$Q_e = Q_{pd} + Q_\gamma + Q_\alpha \quad (1)$$

Vzniklé teplo řezného procesu  $Q_e$  je předáváno do jednotlivých prvků obráběcího systému (obr. 4).

Podíl jednotlivých odváděných složek tepla řezného procesu je závislý na tepelné vodivosti materiálů obrobku a nástroje, na řezných podmínkách (především řezné rychlosti), na řezném prostředí a na geometrii břitu nástroje (rov. 2).

$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_n + Q_{pr} \quad (2)$$

V ideálním případě je největší část vzniklého tepla odváděna ze zóny řezu třískou. Rozsah a jakost styku třísky s čelem nástroje jsou faktory působící přímo úměrně na výkon. Oblast vzniku největšího tepla se nachází v rovině stříhu. V případě malých



- 1 – oblast střížné roviny
- 2 – oblast vzniku tepla na čele nástroje
- 3 – oblast dotyku nástroje s obráběnou plochou

Obr. 4. Místa vzniku tepla a cesty odvádění tepla při řezání [8]

mezích úhlů střížné roviny je zvyšován nežádoucí odvod tepla do obrobku. Teplo vznikající v oblasti hřbetu nástroje by mělo být udržováno na co možná nejnižších hodnotách, proto je třeba volit dostatečně velký úhel hřbetu nástroje [7], [8].

### 3 Řezné prostředí a procesní kapaliny

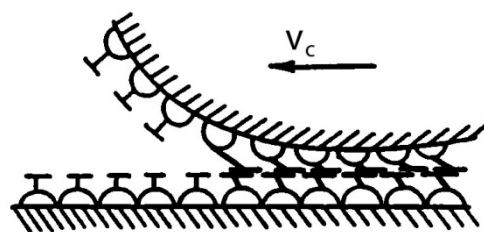
Ekonomické a kvalitativní výsledky obrábění jsou ovlivňovány fyzikálními vlastnostmi prostředí, v němž probíhá řezání. Nejčastější média tvořící řezné prostředí jsou kapaliny, plyny a mlhy, přičemž každé z těchto médií působí na proces řezání odlišně [1].

#### 3.1 Technologické požadavky na řezné prostředí

Požadavky na řezné prostředí jsou především chladicí a mazací účinek, dále pak čistící účinek, ochranný účinek, provozní stálost, zdravotní nezávadnost a přiměřené náklady. Volbou optimálního řezného prostředí je možno zvýšit hospodárnost o desítky procent a zároveň zlepšit jakost obrobků. Účinkem řezného prostředí se mění vlastnosti povrchových vrstev obráběného materiálu i materiálu nástroje a tím se ovlivňuje vzájemné působení jejich povrchů. Deformace obráběného materiálu a jeho tření po břitě nástroje jsou značně ovlivňovány fyzikálními a chemickými vlastnostmi prostředí, v němž probíhá řezání. Odvedené teplo z oblasti řezu, trvanlivost nástroje, spotřeba energie a jakost obrobku je přímo ovlivňována právě řezným prostředím [1], [8].

### Chladicí účinek

Chladicím účinkem se rozumí schopnost řezného prostředí odvádět teplo z místa řezu. Z tohoto hlediska je výhodné použít kapalná média. Tuky nebo prášková maziva sice zmenšují tření, ale jejich charakter neumožňuje dostatečný odvod tepla. S rostoucí řeznou rychlostí vzniká více tepla, které je potřeba efektivně odvádět. Neodvedené teplo nahromaděné v obrobku se může negativně projevit na přesnosti součásti. Chladicí účinek je zvláště důležitý při obrábění nástroji z nástrojové a rychlořezné oceli. Pokud je překročena popouštěcí teplota v místě řezu, materiál nástroje ztratí svoji řezivost a dojde k intenzivnímu opotřebení. Obrobek, tříska i nástroj jsou v místě řezu oplachovány procesní kapalinou a tím dochází k přejímání a odvodu vyvinutého tepla. Část procesní kapaliny se vlivem místního zahřátí odpaří, zbytek pak proudí zpět do nádrže, kde předá teplo do okolního prostředí nebo do částí stroje. Chladicí účinek a také intenzita ochlazování procesních kapalin jsou závislé na tepelné vodivosti, kinematické viskozitě, měrném teple, schopnosti smáčet povrch, rychlosti proudění a pěnivosti kapaliny. S rostoucí pěnivostí se chladicí schopnost snižuje, proto je důležité pění procesních kapalin sledovat a případně odstraňovat vhodnými aditivy. Výparné teplo zvyšuje chladicí účinek kapaliny, ale z hlediska hospodárnosti využití kapaliny, zdravotní nezávadnosti pracovního prostředí a požárních předpisů je nežádoucí [3], [9].



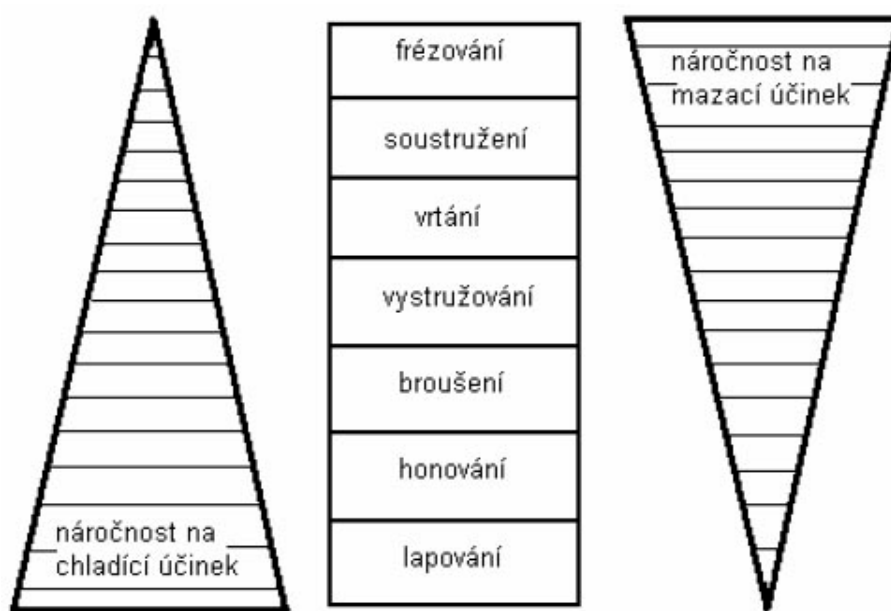
Obr. 5. Schéma uspořádání povrchově aktivních molekul na povrchu kovu (dle [8])

### Mazací účinek

Pod pojmem mazací účinek se rozumí schopnost prostředí (procesní kapaliny) vytvořit na povrchu kovu tlaku odolnou vrstvu, která brání přímému styku vlastních povrchů. Díky této vrstvě se sníží tření na styčných plochách nástroje.

Vlivem řezného prostředí jsou tedy ovlivňovány fyzikální vlastnosti povrchových vrstev materiálu obrobku i nástroje a jejich vzájemné působení. Molekulární síly povrchových molekul jsou vázané pouze směrem dovnitř tělesa. Z vnější strany aktivně ovlivňují prostředí a velmi intenzivně váží jeho molekuly. Povrch těles v prostředí je proto pokrytý určitou přechodovou vrstvou vytvořenou z molekul prostředí, ta je zná-

zorněna na obr. 5. Tento jev se nazývá adsorpce. Přílnavost adsorpční vrstvy je závislá na příbuznosti molekul prostředí a kovu. Aby došlo ke snížení tření, musí mít adsorpční vrstva nižší pevnost ve střihu než materiál obrobku. Adsorpční vrstva by měla být dostatečně odolná vůči teplotám, aby nedocházelo k jejímu teplotnímu porušení a následnému opotřebení břitu nástroje. Pevnost mezní vrstvy je možno zvýšit přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají také pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání. Náročnost jednotlivých operací na chladicí a mazací účinek je znázorněna na obr. 6 [9], [8].

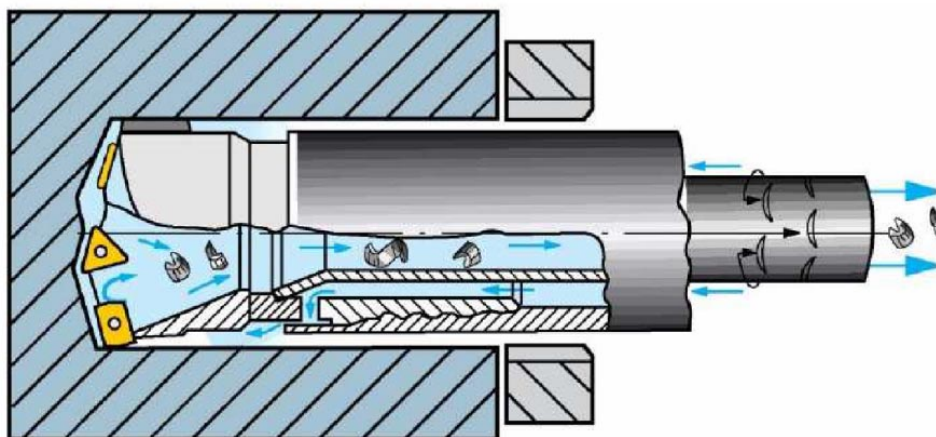


Obr. 6. Náročnost jednotlivých operací na chladicí a mazací účinek [10]

### Čistící účinek

Důležitým úkolem procesních kapalin je odstraňování třísek z místa řezu. Čistícího účinku je využíváno téměř ve všech strojních operacích. Zvláštní důležitost tohoto účinku připadá na technologii broušení, kde je kapalinou čištěn brusný kotouč a při hlubokém vrtání hlavnovými vrtáky, kdy je potřeba důkladně odplavit třísky z místa řezu tělem vrtáku (obr. 7). Drobné kovové částičky se mohou slepovat a spolu s prachem způsobí zhoršení řezné schopnosti nástroje (např. zanášení a zalepování brusných kotoučů). Pokud se tyto nežádoucí částice dostanou do nádrže, je vhodné, aby došlo k jejich rychlému usazení. Tím se zajistí čistota cirkulující procesní kapaliny. V opačném případě jsou částice proudem kapaliny dopravovány zpět do místa řezu, kde negativně ovlivňují řezné vlastnosti nástroje a jakost obrobeného povrchu. Kapaliny s malou vis-

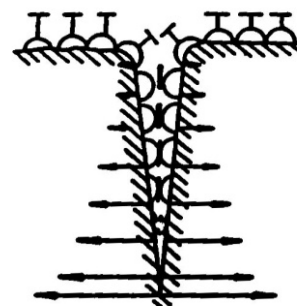
kozitou bez aktivních přísad jsou pro tento účel vhodnější. Kapaliny o velké viskozitě více ulpívají na třískách, čím se zvyšují jejich ztráty odvodem v třískách [3].



obr. 7. Odplavování třísek při hlubokém vrtání [10]

#### *Ochranný účinek*

Při obrábění s použitím procesních kapalin dochází k ulpívání kapaliny na částech strojů i samotném obrobku, proto je třeba zajistit, aby procesní kapalina nezpůsobovala korozi. S podmínkou nekorozivnosti je obvykle spojen požadavek ochranné schopnosti, tím odpadá nutnost konzervace obrobku mezi jednotlivými operacemi výroby. Neúčinkuje-li procesní kapalina sama jako ochranný prostředek, musí jí být dodány potřebné vlastnosti aditivy proti korozi. Další z důležitých podmínek, které jsou kladeny na procesní kapalinu, souvisí s absencí jejího agresivního chování vůči nátěru stroje a jeho pryžovým částem [3].



Obr. 8. Schéma působení povrchově aktivních molekul v mikrotrhlinách materiálu [8]

#### *Řezný účinek (Rebinderův efekt)*

Molekuly povrchově aktivní látky obsažené v procesních kapalinách vnikají do mikrotrhlin deformovaného materiálu a tam působí vnitřním tlakem, který snižuje soudržnost materiálu a ulehčuje tak vznik plastických deformací. Působení těchto molekul je zobrazeno na obr. 8. Účinkem tohoto jevu se snižují řezné síly a tím i výkon potřebný k obrábění. Snížení řezných sil se projevuje prodloužením trvanlivosti nástroje.

Řezný účinek je patrný především při řezání velmi malých třísek, při broušení, ševingo-vání, honování atd. [9].

### *Provozní stálost*

Z ekonomického hlediska je požadováno, aby procesní kapalina setrvala v provozu co možná nejdéle, aniž by změnila své vlastnosti. Nižší četností výměn je dosaženo menších pořizovacích nákladů na procesní kapaliny a kratších časových ztrát vzniklých prostojem stroje na jejich výměnu. Jakýkoliv rozklad nebo chemické změny vzniklé stárnutím kapaliny vedou ke změně jejích vlastností, což se obvykle projeví ve zhoršení některého požadovaného účinku.

Stárnutí kapalin olejového typu je doprovázeno vytvářením pryskyřičných usazenin, které svou lepivostí poškozují funkční plochy strojů. Produkty stárnutí mají za následek zmenšení chladicího účinku, korozi, zvýšení pěnivosti aj. U roztoků a emulzí se projevuje stárnutí kapaliny rozpadem na jednotlivé složky, degradací olejové fáze a častým napadením vody bakteriemi. Nestabilitou a rozložením kapaliny se snižuje mazací účinek, ztráta ochranného účinku aj.

Provozní stálost procesní kapaliny je závislá na její mechanické a chemické čistotě, na teplotě, při níž se kapalina začíná odpařovat, na odolnosti proti mechanickému a chemickému namáhání a na sklonu k pěnivosti. Čím je kapalina složena z většího počtu nesterorodých složek, tím má větší sklon k nestabilitě. Vzhledem k složitým vnějším i vnitřním vlivům na průběh a rychlost stárnutí procesní kapaliny v provozu není možno určit provozní stálost vlastností kapaliny ani posuzovat tuto vlastnost laboratorní zkouškou [3].

### *Zdravotní nezávadnost*

Při práci na obráběcích strojích není možné zabránit tomu, aby se pracovníci nedostali do kontaktu s procesní kapalinou. Obrobky i nástroje, které berou pracovníci do rukou, jsou vždy pokryty vrstvou procesní kapaliny. Nejintenzivněji však působí rozprašování kapaliny, kterému nezabrání ani použití ochranných krytů stroje. Účinným řešením je odsávání rozprašené kapaliny ve formě aerosolu z pracovního prostoru stroje, to je však velice náročné. Takto vzniklá mlha pak ulpívá na pokožce i v dýchacích cestách. Proto je velice důležité, aby procesní kapaliny byly zdravotně nezávadné, ne-  
dráždily sliznice a nebyly jedovaté nebo nezpůsobovaly závažná onemocnění. Zdravotní

nezávadnost je také závislá na provozní stálosti a čistotě. Zestárlá, znečištěná nebo bakteriálně napadená kapalina může způsobit zdravotní obtíže [3].

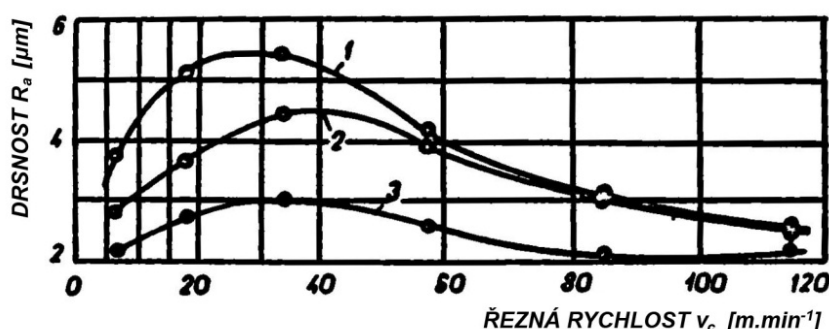
### *Přiměřené náklady*

Současná světová výroba je charakterizována silící mezinárodní konkurencí. Od podniků je vyžadována nejvyšší míra hospodárnosti. Vyrůstající požadavky na ekologii výroby zpřísňují předpisy a zákony týkající se ochrany životního prostředí. Procesní kapaliny v technologii obrábění zaujímají významné místo a ovlivňují výsledek celého procesu. Volba procesní kapaliny by proto měla být pečlivě zvážena nejen z hlediska vlivu na příslušnou technologii obrábění, jakost obrobeného povrchu a spotřebu energie, ale také na náklady vzniklé ekologickou likvidací. Teprve podrobný technologicko-ekonomický rozbor může rozhodnout o vhodnosti některého druhu procesní kapaliny.

Průzkumy v automobilovém průmyslu s použitím centrálního zařízení pro nasazení procesních kapalin ukazují, že náklady na procesní kapaliny činí 7 – 17 % nákladů na obrábění. Jsou zde tedy vícenásobně vyšší, než náklady na obráběcí nástroje. U menších podniků s individuálním plněním strojů procesními kapalinami tvoří náklady na procesní kapaliny obvykle polovinu nákladů na obráběcí nástroje. Podíl nákladů v hodinové sazbě pro frézky může činit, podle firmy Lauscher, 1 – 5 % [3], [9].

### 3.2 Vliv řezného prostředí na proces řezání

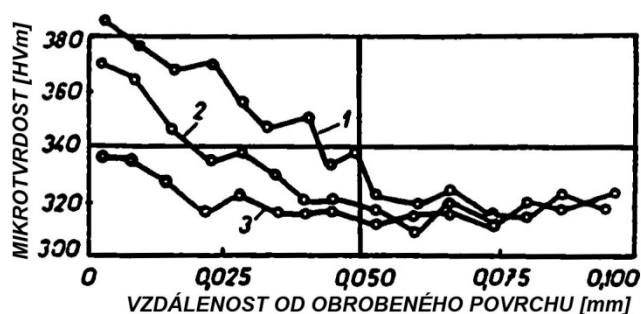
Prostředí, ve kterém se uskutečňuje řezání, má přímý vliv na tvoření třísky, její přechování, stav mikrotvrdosti povrchu, vznik nárůstku, řezné odpory, teplotu řezání a trvanlivost nástroje.



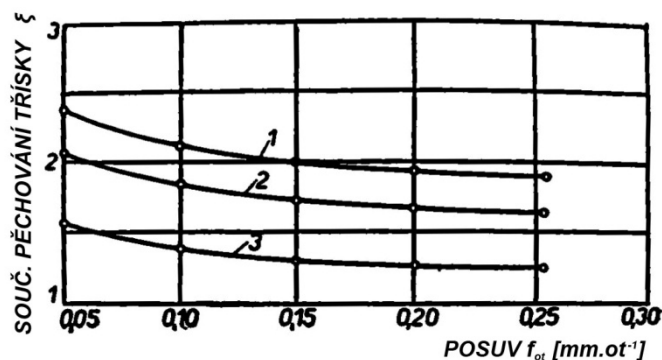
Obr. 9. Závislost drsnosti obrobené plochy na řezné rychlosti v různých prostředích (dle [8])

1 – vzduch, 2 – Akvol 5%, 3 – P2DS

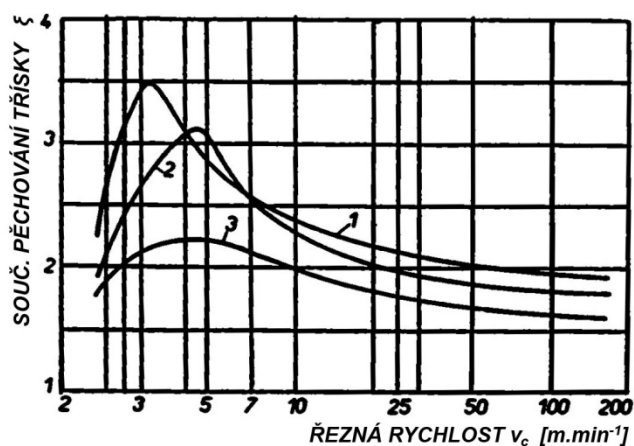




Obr. 10. Mikrotvrdost povrchové vrstvy ocele 12 060.1 soustružené v různých prostředích (dle [8])  
1 – vzduch, 2 – Akvol 50%, 3 – P2DS



Obr. 11. Závislost součinitele přechování třísky na posuvu při soustružení v různých prostředích (dle [8])  
1 – vzduch, 2 – voda, 3 – P2DS



Obr. 12. Závislost součinitele přechování třísky na řezné rychlosti při soustružení v různých prostředích (dle [8])  
1 – vzduch, 2 – voda, 3 – P2DS

Použitím procesních kapalin se snižují plastické deformace obráběného materiálu, především oblast sekundárních plastických deformací, dále dochází ke snížení výšky nárůstku. Drsnost obrobené plochy se snižuje a oblast nejvyšší drsnosti se přesouvá směrem k větším řezným rychlostem, jak je patrné na obr. 9.

Při dostatečném mazacím účinku procesní kapaliny se zmenšuje hloubka a stupeň mikrotvrdosti povrchu obrobku (obr. 10). Dále se snižuje tvrdost a součinitel přechování třísky. Závislosti součinitele přechování třísky na posuvu a na řezné rychlosti pro různá prostředí jsou zobrazeny na obr. 11 a obr. 12. Při obrábění pevnějších materiálů, při vyšších řezných rychlostech a vyšších posuvech je vliv mazacího účinku procesní kapaliny méně výrazný [8].

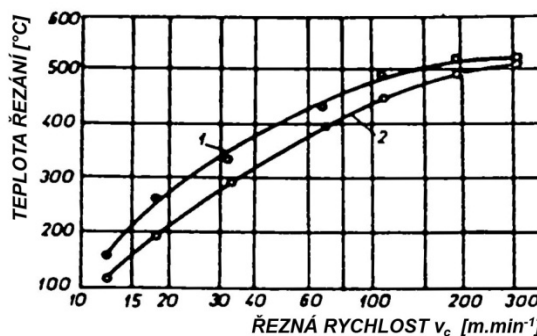
Procesními kapalinami je také ovlivňováno tvarování třísky. Rozhodujícím faktorem je chladicí účinek. Rychleji ochlazená tříska je méně plastická a má menší poloměr zakřivení, než tříska obrobená za sucha.

Vzhledem k menší deformaci obráběného materiálu se snižují i řezné odpory. Účinek procesních kapalin se projevuje více na snížení radiální složky řezné síly, než na složce tangenciální (dle současné normy se radiální složka nazývá pasivní síla  $F_f$  a tangenciální složka se nazývá řezná síla  $F_c$ ). Tento jev je spojený se snížením tření na čele nástroje a zmenšením sekundárních plastických deformací. Snížení řezného odporu je závislé na použité procesní kapalině a na hloubce řezu  $a_p$ . Nejmenší vliv na řezné odpory mají roztoky, obyčejné emulze snižují řezný odpor přibližně o 10% a rostlinné oleje až o 25%. Při hloubkách řezu větších jak 0,5 mm až 0,8 mm nemají procesní kapaliny žádný vliv na řezný odpor, kdežto při dokončovacích operacích s malou hloubkou řezu se může snížit řezný odpor až o 50% [8].

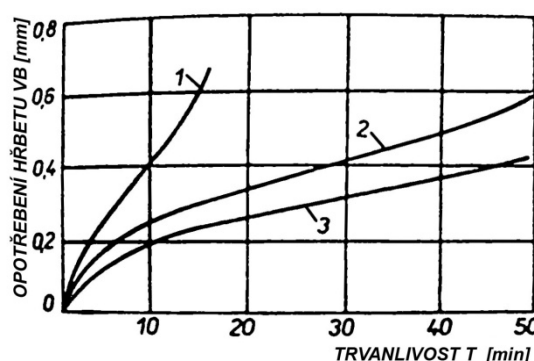
Menšími plastickými deformacemi stejně jako samotnými chladicími účinky procesních kapalin se snižují teploty řezání. V oblastech nízkých parametrů řezání je vliv procesních kapalin na teplotu řezání výraznější než v oblastech vyšších parametrů, např. na obr. 13 je zobrazena závislost teploty na řezné rychlosti ve dvou různých prostředích.

Při nižší teplotě řezání se snižuje intenzita opotřebení řezného nástroje a zároveň se zvětšuje hodnota opotřebení, při které se nástroj opotřebovává rychleji. Proto se při použití procesních kapalin zvětšuje kritérium opotřebení nástroje. Tato skutečnost a

pomalejší opotřebení umožňují podstatně prodloužit životnost nástrojů. Závislost veli-



Obr. 13. Závislost teploty břitu nástroje na řezné rychlosti při soustružení oceli 12 060.1 v různých prostředích (dle [8])  
1 – vzduch, 2 – voda



Obr. 14. Časový průběh opotřebení při soustružení v různých prostředích (dle [8])  
1 – vzduch, 2 – P2DS, 3 – Akvol 3%

kosti opotřebení na čase je znázorněna na obr. 14. Pokud je trvanlivost nástroje při práci za sucha dostatečná, lze zvýšit řeznou rychlost a tím dosáhnout větší produktivity obrábění.

Použitím procesních kapalin je tedy možno dosáhnout větší produktivity, zlepšit jakost obrobených povrchů, snížit spotřebu nástrojových materiálů a elektrické energie [8].

### 3.3 Rozdělení procesních kapalin

Podle převládajících základních vlastností, které jsou na procesní kapaliny kladeny, je lze rozdělit:

- chladicí kapaliny – *kapaliny s převažujícím chladicím účinkem*,
- řezné oleje – *kapaliny s převažujícím mazacím účinkem*.

V současné době se tímto rozdělením nevystihuje přesně sortiment procesních kapalin. Stále se projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u procesních kapalin s převažujícím chladicím účinkem. Moderní druhy procesních kapalin tento požadavek plní a tak je stírán rozdíl mezi oběma skupinami [7].

Podle zahraničních zdrojů je rozdělení procesních kapalin zjednodušováno. Tomuto trendu se přizpůsobují i výrobci a nabízí svůj sortiment podle následujícího rozdělení:

- s vodou mísitelné,
- s vodou nemísitelné.

Dále se podle stejného zdroje rozdělují s vodou mísitelné procesní kapaliny na základě složení následovně:

- vodné roztoky,
- emulzní kapaliny,
- syntetické kapaliny,
- polosyntetické kapaliny.

S vodou nemísitelné procesní kapaliny jsou minerální, přírodní i syntetické oleje, ale i jiné mazací látky. Odlišnost od procesních kapalin s vodou mísitelných je hlavně v tom, že se vyznačují vysokou mazací schopností a jsou schopné absorbovat vysoké tlaky [9].

### *Vodné roztoky*

Tyto procesní kapaliny se zakládají na vodní bázi. V porovnání s emulzemi a ropnými oleji se vodné roztoky vyznačují nejlepším chladicím účinkem. Surová voda se pro přípravu těchto kapalin nehodí, protože má vysokou tvrdost, obsahuje prach a mikroorganismy, dále pak způsobuje korozi, má malou smáčivost, pění a odpařuje se při nízkých teplotách. Proto musí být voda nejprve změkčena a následně upravena dalšími přísadami proti vzniku koroze a snížení povrchového napětí, tím se zvýší její schopnost odevzdat teplo. Jako přísady se mohou použít různé soli nebo povrchově aktivní látky [9].

### *Emulzní kapaliny*

Emulze je disperzní soustava dvou vzájemně nemísitelných kapalin. Jedna kapalina je rozptýlena v druhé ve formě mikroskopických kapiček. Pro obrábění kovů se používá typ emulze, kde jsou kapičky oleje rozptýleny ve vodě. Podíl oleje v emulzi roste se stoupajícím požadavkem na výkon řezání. Pro zvýšení stability emulze je třeba přidat ještě třetí látku, tzn. emulgátor, který brání spojení mikrokapiček oleje a tím následnému oddělení obou fází emulze. Mezi další významné přísady se řadí inhibitory koroze, stabilizátory, EP (Extreme-Pressure) přísady a přísady proti pění. Částečně syntetické procesní kapaliny se odlišují od klasických emulzí tím, že obsahují přísady povrchově aktivních látek, které aktivují minerální olej emulgovaný ve vodě a tím výrazně zvýší mazací a řezný účinek kapaliny. U emulzní jsou do určité míry spojeny přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzí je závislý na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi je závislá na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře než u vodných roztoků [7], [9].

### *Syntetické a polosyntetické procesní kapaliny*

Syntetické a polosyntetické procesní kapaliny se řadí mezi nové druhy kapalin mísitelných s vodou. Jsou to průhledné tekutiny založené na bázi polyglykolů a esterů. Při obsahu minerálního oleje v rozsahu 5 až 30 % jsou tyto kapaliny nazývány jako polosyntetické, kdežto při absenci olejové složky jako syntetické [9].

Tento druh procesních kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí, dobrým chladicím a ochranným účinkem. U polosyntetických kapalin jsou olejové částice mno-

hem menší než u kapalin emulzních, což se projevuje příznivějším mazacím účinkem [7].

### *Řezné oleje*

#### *Mastné látky rostlinného nebo živočišného původu*

Tyto látky se vyznačují dobrým mazacím a řezným účinkem, jelikož mají dobrou afinitu k povrchu kovů. Používají se při operacích s malými řeznými rychlostmi a při obrábění tvrdých materiálu, kde je vyžadována malá drsnost.

#### *Mastné ropné oleje s přísadou mastných látek rostlinného nebo živočišného původu.*

Do ropných olejů mohou být přidávány mastné látky a mastné kyseliny. Účinkem mastných látek obsažených v ropném oleji se zvyšují mazací vlastnosti a řezný účinek kapaliny. Nevýhodou je snížení oxidační stálosti.

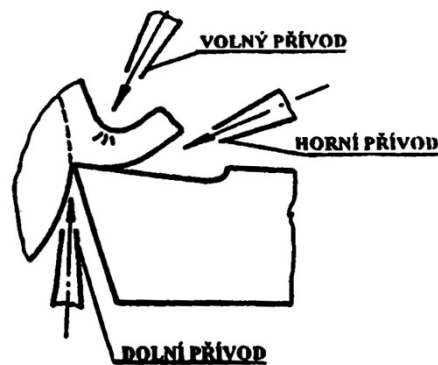
#### *Ropné oleje s vysokotlakými přísadami, případně i s látkami rostlinného nebo živočišného původu.*

Tyto kapaliny se vyznačují velmi dobrými provozními vlastnostmi. Mazací a řezný účinek je zvýšen chemickými přísadami povrchově aktivních látek. Lze je využívat ve větším rozsahu řezných podmínek než předchozí dvě skupiny [9].

### 3.4 Přívod procesní kapaliny do místa řezu

Způsobem přívodu procesní kapaliny do místa řezu se výrazně ovlivňuje trvanlivost nástroje i jakost obrobeneho povrchu.

V posledních letech se objevuje na trhu mnoho nových způsobů přívodu procesní kapaliny. Jedná se především o tlakové chlazení, podchlazování procesní kapaliny, chlazení mlhou, chlazení vzduchem, chlazení kyslíčnickem uhličitým, vnitřní chlazení, chlazení dvěma kapalinami při broušení apod. Podstatou všech těchto metod je zvetšení chladicího a mazacího účinku procesní kapaliny [11].



Obr. 15. Varianty přívodu procesní kapaliny do místa řezu [7]

### *Standardní chlazení*

U tohoto způsobu přívodu procesní kapaliny není vyžadována žádná úprava pří- vodního potrubí a vystačí se standardní výbavou každého stroje. Toto zařízení je tvoře-

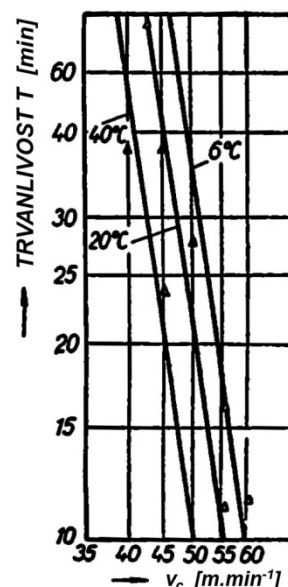
no nádrží na procesní kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Polohu trysky je možné nastavit dle potřeby do poloh zobrazených na obr. 15 [7].

#### *Tlakové chlazení*

Při tlakovém chlazení je přiváděna procesní kapalina dolním přívodem přímo do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá 0,3 až 1 mm a tlaky v rozmezí 0,3 až 3 MPa. Tento způsob chlazení je výhodný u operací kde vlivem vzniklého tepla dochází k rychlému opotřebení nástroje. Nedostatkem tohoto způsobu je rozstřík procesní kapaliny a tvorba mlhy [7].

#### *Podchlazování procesní kapaliny*

Podchlazování procesních kapalin je jeden ze způsobů, jak lze zvýšit trvanlivost řezných nástrojů (obr. 16). Běžné druhy emulzí mohou být podchlazeny na 5 až 10 °C, oleje pak na 15 až 20 °C [3].



Obr. 16. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti pro různé teploty kapalin (dle [3])

### 3.5 Opotřebení a trvanlivost řezných nástrojů

Proces obrábění řezáním je doprovázen vznikem velkého množství tepla, které značně zatěžuje břit nástroje, především plochu čela a hřbetu. Působením vysokých teplot a tlaků, při utváření třísky, vzniká čistý kovový povrch, který má sklon k chemickým reakcím nebo difúzním procesům. Ve většině obráběných materiálů jsou obsaženy tvrdé částice různého druhu, které často dosahují tvrdosti materiálu nástroje. Pohybem těchto částic dochází k abrazivnímu efektu [12].

### 3.6 Mechanismy opotřebení

Kombinací těchto jevů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje (obr. 17). To se následně projeví opotřebením nástroje. K základním mechanismům opotřebení patří: adhezni opotřebení, abrazivní opotřebení, difusní opotřebení, oxidační opotřebení, statický či dynamický lom.

*Abrázivní opotřebení*

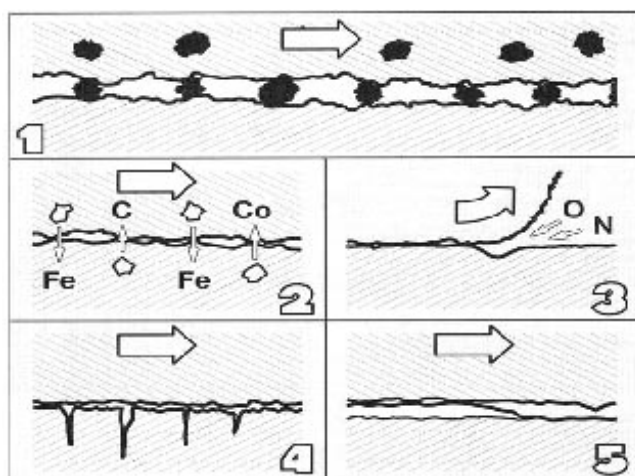
Velmi častý mechanismus, který vzniká působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Princip je podobný jako při broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje [7].

*Adhezní opotřebení*

Příčinou adhezního opotřebení je vznik a následné okamžité porušování mikro-svarových spojů na stýkajících se vrcholových nerovnostech čela nástroje a třísky. Tento jev vzniká v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných ploch [12].

*Difusní opotřebení*

Difusní opotřebení je způsobeno přesouváním atomů z obráběného materiálu do materiálu nástroje a naopak. Rozhodujícím faktorem pro vznik tohoto mechanismu opotřebení je chemické složení materiálu nástroje a jeho afinita vůči materiálu obrobku [7], [12].



- 1 – Abrázivní opotřebení
- 2 – Difuzní opotřebení
- 3 – Oxidační opotřebení
- 4 – Statický či dynamický lom
- 5 – Adhezní opotřebení

Obr. 17. Mechanismy opotřebení břitů [12]

*Oxidační opotřebení*

Břit nástroje, zahřátý při řezání na vysokou teplotu, oxiduje s okolním vzduchem a na jeho povrchu se vytváří různé oxidy. Vlastnosti takto vzniklých oxidů se značně liší, některé oxidy tvoří porézní filmy a jsou snadno odnášeny třískou, jiné jsou podstatně pevnější [7].

### *Statický či dynamický lom*

Lom bříty nástroje vzniká v důsledku vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenita a vměstky v obráběném materiálu [12].

### 3.7 Klasifikace typů opotřebení

Detailní studií opotřebení bříty nástroje je umožněno kontrolovat trvanlivost, její spolehlivost a dokonce i možnost jejího prodloužení. Pro každý proces obrábění řezáním existuje optimální průběh opotřebení nástroje. Na obr. 18 jsou zobrazeny jednotlivé formy opotřebení bříty nástroje [12].

#### *Opotřebení hřbetu*

Toto opotřebení je způsobeno abrazivními jevy při obrábění. Je vytvářeno na plochách hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří i na poloměru špičky a je všeobecně obvyklým typem opotřebení. S jeho rostoucí hodnotou se zhoršuje jakost obrobených ploch, přesnosti rozměrů a zvyšuje se tření [12].

#### *Opotřebení ve tvaru žlábků*

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele nástroje je způsobeno abrazivními a difuzními a mechanismy. Žlábek vzniká částečně úběrem materiálu bříty nástroje působením brousícího pochodu tvrdých částic, ale zejména difuzí mezi třískou a materiálem bříty v místě s nejvyšší teplotou. Velkým opotřebením v podobě žlábků se mění geometrie bříty, tvar třísky a může také ovlivnit řezné síly [12].

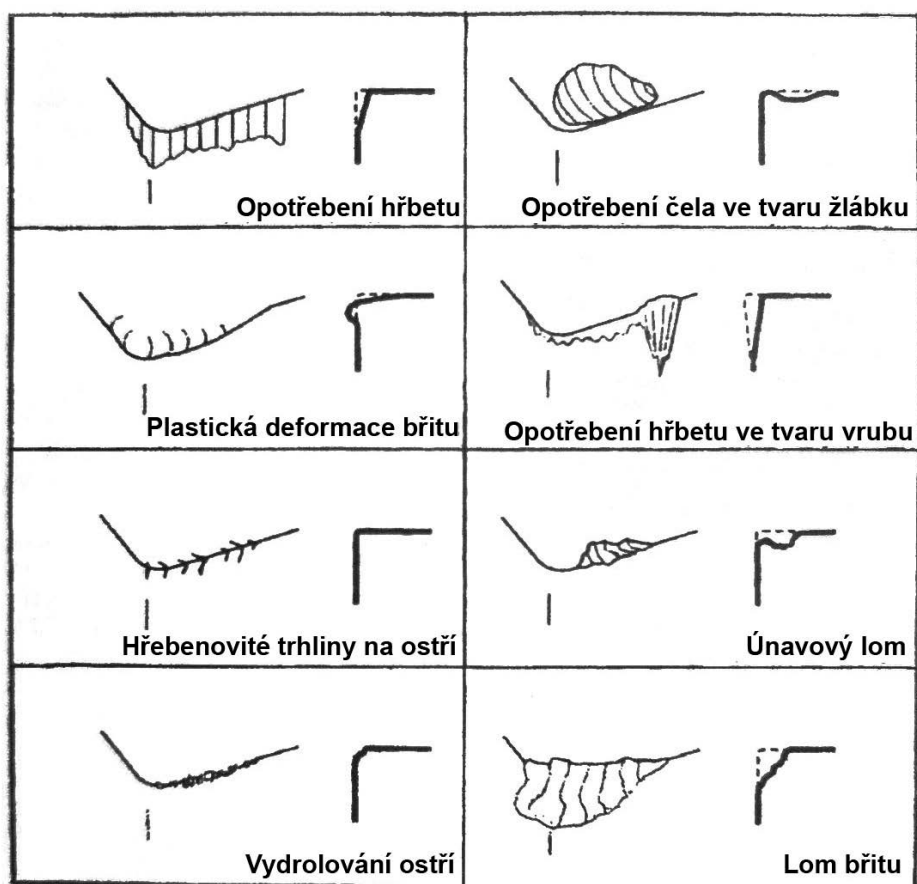
#### *Vydrolování ostří*

Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částice řezného nástrojového materiálu začnou uvolňovat z povrchu bříty. Nejčastější příčinou této formy opotřebení je obrábění přerušovaným řezem [12].

#### *Plastická deformace*

Plastická deformace bříty nástroje vzniká působením kombinace vysokých teplot a tlaků. Tato deformace se vyskytuje při obrábění všemi nástrojovými materiály po dosažení určité limitní teploty na stykových plochách mezi nástrojem a obrobkem. Dosažení této teploty se projevuje výrazným poklesem tvrdosti nástrojového materiálu v důsledku strukturních změn [7].





Obr. 18. Formy opotřebení břitu nástroje (dle [7])

*Opotřebení ve tvaru vrubu*

Tato forma se řadí mezi typické adhezivní opotřebení, může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby se vytváří v místě kontaktu břitu s bokem třísky, kudy proniká vzduch do zóny řezu. Utváření třísky je ovlivněno velkým opotřebením hřbetu ve tvaru vrubu a může vést k lomu destičky [7].

*Hřebenovité trhlinky na ostří nástroje*

Vznik hřebenových trhlinek na ostří nástroje je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelným šokem. Trhlinky se tvoří kolmo na ostří a částice rezného materiálu mezi nimi se mohou náhle vylamovat [12].

*Únavový lom*

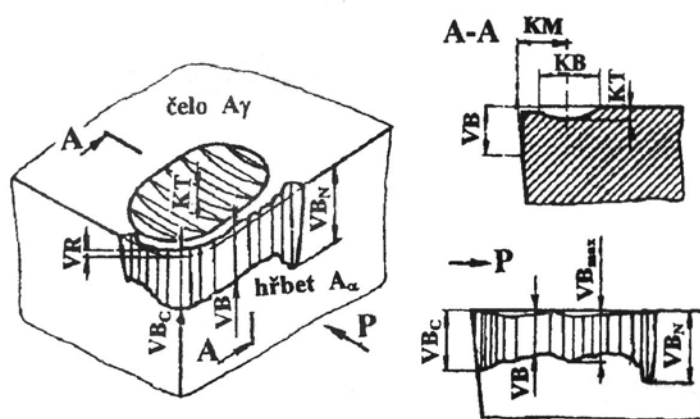
Součet neustále se měnících zatížení břitu, která sama o sobě nejsou schopna vyvolat křehký lom břitu, vyvolají po určitém čase lom únavový [12].

### *Lom břitu nástroje*

Křehký lom může být způsoben různými faktory. Velmi často je zvolený materiál břitu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění [12].

### 3.8 Kvantifikace opotřebení

Opotřebení břitu, jako významný parametr řezného procesu, se kvantifikuje rozměrovými charakteristikami vztaženými k postupnému opotřebování břitu řezného nástroje obr. 19. Kvantifikace parametrů opotřebení se provádí měřením na různých mikroskopických přístrojích s následným vyhodnocením [7].



Obr. 19. Parametry opotřebení břitu nástroje a jejich označení [7]

### 3.9 Trvanlivost nástroje

Jako trvanlivost se označuje součet všech strojních časů nástroje v řezu od začátku obrábění až po předem stanovenou kritériální hodnotu opotřebení břitu nástroje, přičemž kritérium opotřebení musí být stanoveno tak, aby po celou dobu řezání měl obrobek požadovaný tvar, rozměry a kvalitu obrobené plochy. Při volbě kritéria opotřebení nástroje je třeba vycházet z těchto požadavků:

- zamezit nadměrné poškozování nástroje opotřebením,
- docílit požadovanou přesnost,
- vyloučit zhoršení drsnosti povrchu,
- docílit maximální životnost nástroje,
- zabezpečit maximální hospodárnost operace [8].

### 3.10 Závislost trvanlivosti břitu nástroje na řezných podmínkách

Trvanlivost ostří při optimální geometrii řezného nástroje pro daný materiál je závislá na třech fyzikálních parametrech: na řezné rychlosti, na tloušťce třísky a na její šířce. Matematická závislost trvanlivosti nástroje na těchto třech parametrech může být vyjádřena pomocí upraveného Taylorova vztahu (rov. 3),

$$T = \frac{C_T}{v_c^m a_p^{x_T} f_{ot}^{y_T}} \quad (3)$$

kde  $C_T$  je konstanta závislá na materiálu obrobku a materiálu nástroje. Experimentálně bylo zjištěno, že exponenty  $m$ ,  $x_T$  a  $y_T$  mají přibližně tyto hodnoty:

$$x_T \approx 0,3; \quad y_T \approx 0,9; \quad m \approx 2,5 \div 12$$

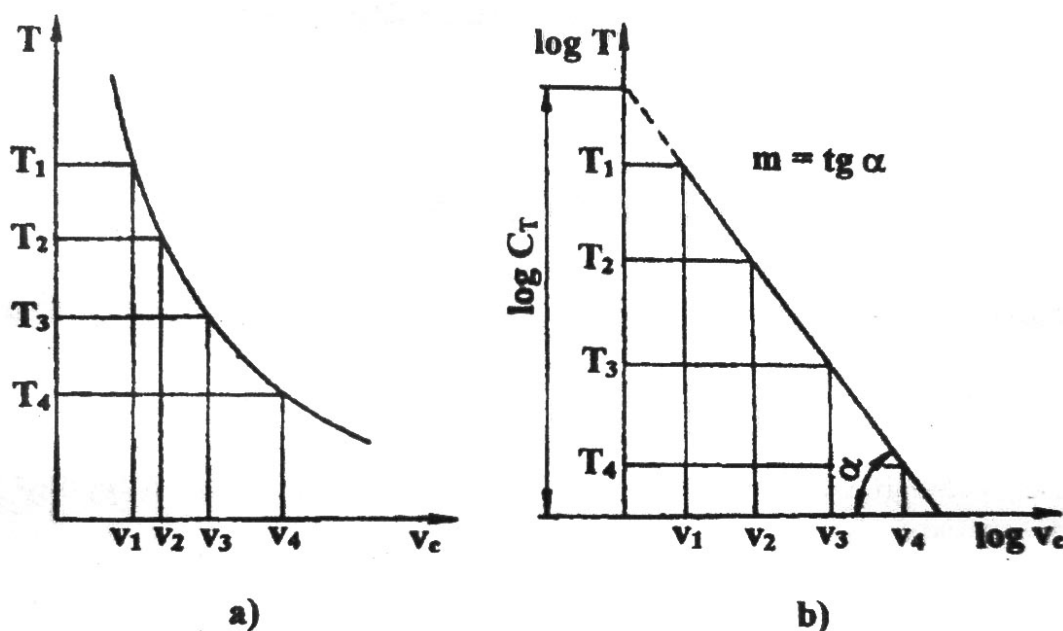
Ze zákona konstantní trvanlivosti vyplývá, že největším vlivem se na trvanlivosti podílí řezná rychlost. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti je vyjádřena vztahem (rov. 4).

$$T = \frac{C_{Tv}}{v_c^m} \quad (4)$$

Vliv řezné rychlosti je vyjádřený hodnotou exponentu  $m$ . Matematicky je exponent  $m$  záporná hodnota směrnice tečny funkce vyjádřená:

$$\log T = f(\log v_c) \quad (5)$$

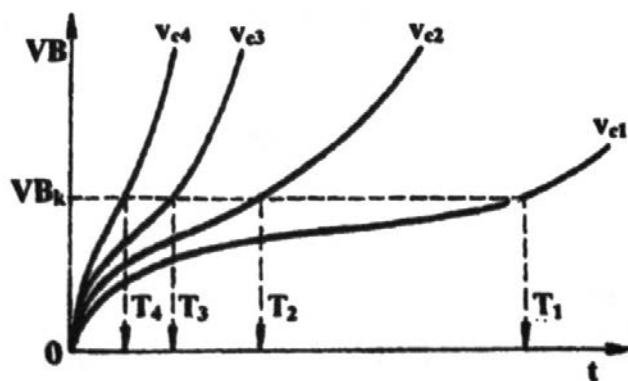
Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti podle (rov. 4) je znázorněna v lineárních a logaritmických souřadnicích na obr. 20 [8].



Obr. 20. Průběh závislostí  $T = f(v_c) = C_T \cdot v_c^{-m}$  [7]

a – lineární; b - logaritmické

Nárůst velikosti opotřebení nástroje není lineární. Charakteristický průběh opotřebení hřbetu nástroje  $VB$  v závislosti na čase je pro čtyři různé řezné rychlosti znázorněn na obr. 21. Na grafu je jasně patrný vliv řezné rychlosti na rychlost opotřebení nástroje, kde pro kritériální hodnotu opotřebení hřbetu  $VB_k$  dostáváme čtyři různé trvanlivosti [7].



$$v_{c1} < v_{c2} < v_{c3} < v_{c4}$$

$$T_1 > T_2 > T_3 > T_4$$

Obr. 21. Velikost opotřebení hřbetu nástroje  $VB$  v závislosti na čase [7]

Trvanlivost bříty nástroje není závislá pouze na řezných podmínkách, ale ovlivňují ji další činitele, např. geometrie bříty, materiál nástroje a obrobku, způsob chlazení, klid řezání, způsob namáhání nástroje atd. [8].

Řád	Druh úchylky	Znázornění úchylky	Příčiny vzniku úchylky
1	Úchylka tvaru		Špatné upnutí, prohnutí obrobku, chyby ve vedení stroje, opotřebení
2	Vlnitost		Chvění stroje, nástroje, nesprávné upnutí
3	Drsnost — periodický profil		Tvar nástroje, řezné podmínky (posuv)
4	Drsnost — aperiodický, náhodný profil		Mechanismus vzniku nového povrchu
1 až 4	Celkový profil		Spojení úchylek 1 až 4

Obr. 22. Klasifikace úchylek povrchu (dle [13])

## 4 Parametry drsnosti povrchu

Při výrobě součástí vzniká na hranici tělesa určitý povrch, který není dokonale hladký. Mikrogeometrie povrchu neboli drsnost je výrazně ovlivňována dynamickou únosností součástí, proto je velice důležité sledovat, hodnotit a využívat znalostí o drsnosti povrchu. Lepší jakostí povrchu je možno snížit únavové činitele, oddálit tak možný únavový lom a tím zvýšit spolehlivost součástí. Drsnost povrchu je možno hodnotit různými parametry, které vždy stanoví norma.

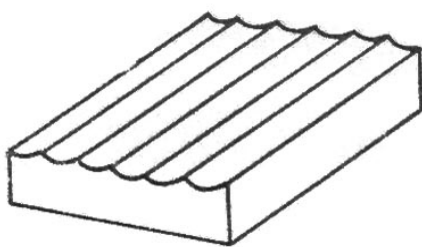
Funkce každé součásti je tedy úzce spojena s povrchem obrobené plochy. Přesnost dodržení předepsaných geometrických parametrů je dána souhrnem jejich odchylek od ideální geometrie. Tyto úchyly jsou definovány jako rozdíl mezi skutečným tvarem plochy a její ideální geometrie. Úchyly se je možno klasifikovat do skupin podle obr. 22 [13].

### 4.1 Vybrané obecné termíny

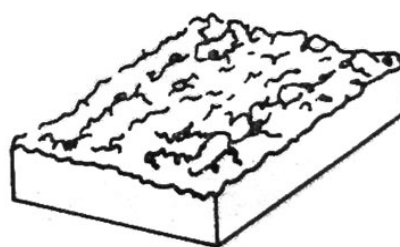
V důsledku používání různých technologických operací při výrobě jsou vytvářeny na povrchu součástí vždy určité nerovnosti. Způsob vzniku nového povrchu neovlivňuje pouze jeho drsnost, ale také vlastnosti povrchové vrstvy materiálu součásti (zpevnění, zbytková napětí, mikrotrhliny, strukturní poruchy apod.). Podle způsobu výroby resp., podle směru nerovností povrchu, lze rozdělit plochy povrchů:

**anizotropní** – s výrazným směrem nerovností (obr. 23),

**izotropní** – bez výrazného směru nerovností (obr. 24) [13].

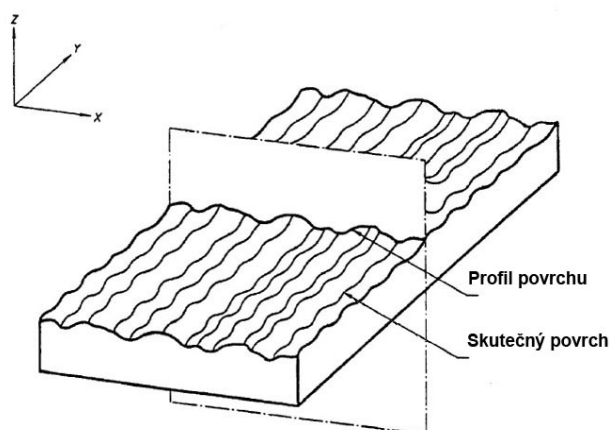


Obr. 23. Anizotropní povrch [13]

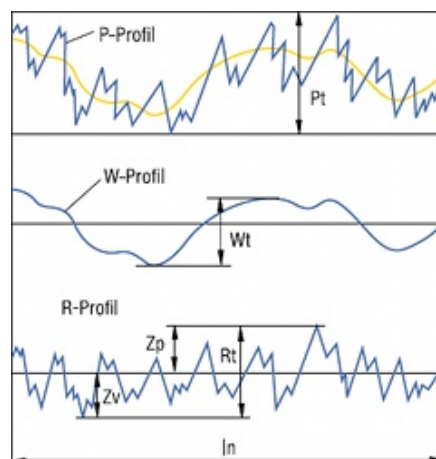


Obr. 24. Izotropní povrch [13]

Při obrábění řezáním se tedy vytváří anizotropní povrch. Aby bylo možné kvantitativně hodnotit povrch součástí, je třeba vytvořit profil povrchu (obr. 25). Ten se nejčastěji vytvoří pohybem snímače po skutečném povrchu kolmo na směr nerovností. Takto vzniklý profil povrchu je třeba dále filtrovat, aby se odstranil vliv tvaru a vlnitosti součásti od drsnosti. K tomuto účelu se používají filtry uvedené v DIN EN ISO 11562.



Obr. 25. Profil povrchu (dle [14])



Obr. 26. Profily povrchu P, R a W [22]

Na základě tohoto postupu je možné rozdělit profily povrchu na:

**P profil** – nefiltrovaný profil povrchu,

**R profil** – profil drsnosti vzniklý filtrací z profilu povrchu,

**W profil** – profil vlnitosti vzniklý filtrací z profilu povrchu.

Na těchto třech profilech jsou definovány parametry a podle profilu také analogicky označeny P, R nebo W (např.:  $P_t$ ,  $W_t$  a  $R_t$  pro celkovou výšku profilu viz. obr. 26). Profil drsnosti je skládán z elementů oddělených podle vlnové délky profilovým filtrem  $\lambda_c$  (cut-off). Způsob filtrace k oddělení vlnitosti a drsnosti je charakterizován mezní vlnovou délkou. Základní délka  $l_r$  je délka pohybu snímače, během kterého se snímají úchyly tvaru povrchu. Ta je delší než vyhodnocovaná délka  $l_n$ , ze které se pomocí filtru získá profil drsnosti [14], [22].

#### 4.2 Definice parametrů drsnosti povrchu

V experimentální části bakalářské práce budou porovnávány tyto parametry drsnosti povrchu:

**průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti  $R_a$ :** aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky (rov. 6),

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (6)$$

**největší výška profilu drsnosti  $R_z$ :** součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnížší prohlubně profilu drsnosti v rozsahu základní délky (obr. 26),

**nosný podíl profilu  $c_{tp50}$ :** nenormovaný parametr, vyjadřuje číselnou hodnotu výšky profilu drsnosti, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 (50 % materiálu a 50 % vzdu-

chu). Čím je hodnota  $c_{tp50}$  nižší, tím je povrch kvalitnější. Hodnota se určuje z Abbottovy křivky.

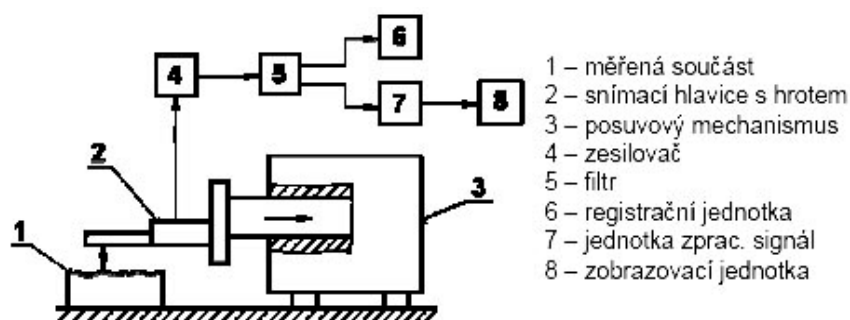
#### 4.3 Metody měření drsnosti povrchu

##### *Porovnáním s etalony drsnosti*

Při této metodě se porovnávají obrobené plochy se vzorky etalonů a na základě vizuální shody lze přibližně určit jejich drsnost. Porovnání se provádí buďto okem nebo mikroskopem. Z podstaty metody je patrná její značná nepřesnost. Porovnávaná plocha obrobku musí mít stejný tvar (válec, rovina), trajektorii obrábění a barvu jako etalon [13].

##### *Pomocí dotykových profiloměrů*

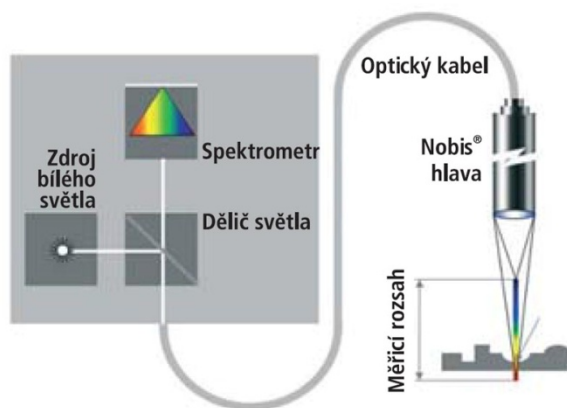
Dotykové profiloměry jsou jednoúčelové měřicí přístroje sloužící ke snímání profilu povrchu pomocí snímací hlavičky s hrotem (obr. 27). Profil povrchu je vyhodnocen přímo přístrojem nebo připojeným počítačem. Druhý ze způsobů umožňuje zpracování dat pomocí speciálního softwaru [15].



Obr. 27. Princip měření dotykovým profilometrem [12]

##### *Bezdotykové (optické) měření*

Jeden z principů bezdotykového měření drsnosti povrchu je založen na chromatické vadě čočky. Ohnisková vzdálenost čočky je přímo závislá na vlnové délce světla, proto se láme každá barva světla jinak (obr. 28). Tato metoda se používá pro měření citlivých nebo měkkých povrchů, které by mohly být



Obr. 28. Princip optického měření drsnosti [16]

poškozeny kontaktním měřením nebo naopak pro měření extrémně tvrdých povrchů, kde by mohlo dojít k poškození měřicího hrotu. Moderních optických metod se využívá při zkoumání 3D topografie povrchu [16].

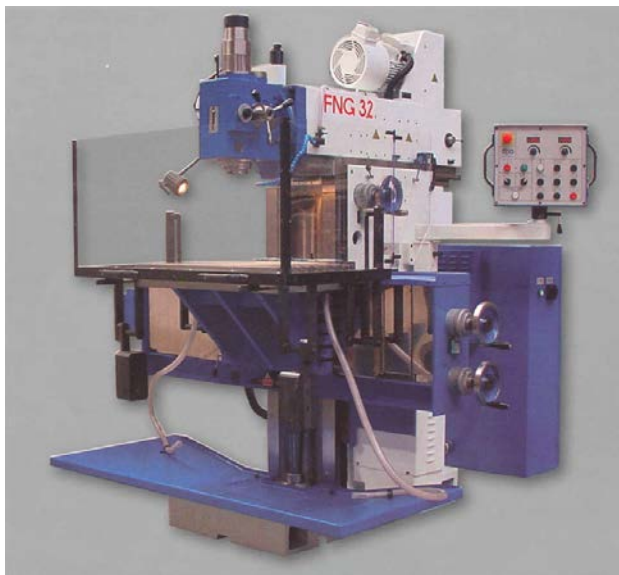
## 5 Charakteristika použitého vybavení

### 5.1 Frézka FNG 32

FGN 32 znázorněná na obr. 29 je konvenční nástrojařská frézka určená pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitové operace. Stroj je dodáván s horizontálním vřetenem, uloženým ve smykadlovém vřeteníku. Dále je stroj vybaven vertikální hlavou s odklápěčem a pevným úhlovým stolem. Vertikální hlava je opatřena pinolou s ručním výsunem. Vřeteno lze naklápět v rozsahu  $\pm 90^\circ$ . V horizontálním i vertikálním vřetenu je využito pneumaticko-hydraulického upnutí nástroje.

Přednosti stroje:

- plynule stavitelné otáčky,
- vřeteno ve výsuvné pinole, s hrubým a jemným výsunem,
- plynule stavitelné posuvy ve všech 3 osách,
- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje,
- kalené vodící plochy,
- jednoduchá obsluha,
- centrální mazání s dávkovači,
- snadná údržba.



Obr. 29. Frézka FNG 32 [17]

Technické údaje jsou uvedeny v tabulce na obr. 30 [17].

STŮL				VERTIKÁLNÍ VŘETENO			
Rozměr pracovní plochy	mm		800 x 400	Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm		ISO40 250–650
Upínací drážky	– počet		7	Rozsah otáček – plynule	ot/min		50–4 000
	– šířka a rozteč	mm	14 x 50	Počet rychlostních stupňů			2
Maximální zatížení stolu	kg		350	Řazení otáček			plynulé
Pracovní zdvih	– podélný (X)	mm	600	Natočení vřetena			$\pm 90^\circ$
	– příčný (Y)	mm	400	Výsuv pinoly	mm		80
	– svislý (Z)	mm	400	Upínání nástroje			pneu-hydraulické
Posuvy	– počet stupňů		plynule	STROJ			
	– rozsah X, Y	mm/min.	15–1 000	Výkon hlavního motoru	kW		4,0
	– rozsah Z	mm/min.	6–400	Výkon posuvového motoru	kW		1,1
Rychloposuv	X, Y	mm/min.	2 000	Celkový příkon	kVA		22
	Z	mm/min.	800	Hmotnost	kg		2 500
HORIZONTÁLNÍ VŘETENO				Zastavěná plocha	mm		2 070 x 2 120
Vzdálenost osy vřetene			ISO40	Výška	mm		2 115
od plochy pevného stolu	mm		148–548				
Rozsah otáček – plynule	ot/min		50–4 000				
Počet rychlostních stupňů			2				
Řazení otáček			plynulé				

Obr. 30. Technické údaje frézky FNG 32 [17]



## 5.2 Vrtací nástroj

K vrtání děr byl použit vrták s válcovou stopkou firmy StimZet odpovídající normě ČSN 221121, který je zobrazen na obr. 31.



Obr. 31. Vrták s válcovou stopkou ČSN 221121 [18]

specifikace nástroje:

- materiál nástroje: rychlořezná ocel
- rozměry:  $\varnothing D = 8 \text{ mm}$ ,  $L_v = 117 \text{ mm}$ ,  $l = 75 \text{ mm}$
- úhel nastavení:  $\kappa_r = 59^\circ$
- povrchová úprava: černěno nebo pasivováno
- způsob ostření: dle DIN 1412, Form N, podbroušená kuželová plocha
- způsob výroby: tváření, vybrušování [18]

## 5.3 Čerpací jednotka EmP

V průběhu realizace experimentů bude třeba často měnit procesní kapaliny. Z tohoto důvodu bude použita externí čerpací jednotka (obr. 32). Zařízení se skládá ze zásobníku na procesní kapalinu a elektročerpadla.



Obr. 32. Čerpací jednotka EmP

#### 5.4 Refraktometr Optech Brix

Přenosný optický refraktometr Optech Brix RLC/ATC pro měření koncentrace kapaliny (obr. 33).

technické údaje:

- rozsah měření: 0 – 18 % Brix
- přesnost měření: 0,1 %
- ATC – automatická kompenzace teploty kapaliny [21]



Obr. 33. Refraktometr Optech Brix RLC/ATC [21]

#### 5.5 Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000N2

Prakticky orientovaný mnohotvárný přístroj zobrazený na obr. 34 pro měrové středisko a laboratoř. Hospodárný, mobilní i stacionární přístroj pro měření od vztažné roviny s vyhraněným profilem. Přímost vedení je zajištěna keramickým vedením. Volitelné připojení k počítači.



Obr. 34. Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000N2 [20]

Technická specifikace:

- měření drsnosti, vlnitosti a primárního profilu,
- funkce automatické kalibrace se všemi snímači,
- zdvih snímače 800  $\mu\text{m}$ ,
- dělení 0,0001  $\mu\text{m}$ ,
- posuv volitelný (osa X) 50 mm,
- nejmenší Cut-off 0,025 mm,
- odchylka přímosti vedení 0,3  $\mu\text{m}$ / 50 mm,
- početné snímací doteky pro různé měřicí úlohy,
- jednoduchá výměna snímače,
- možnost připojení systému k počítači standardně se softwarem SURFPAK [20].

### 5.6 Stereoskopický mikroskop Arsenal SZP 3112–T

Stereoskopický mikroskop zobrazený na obr. 35 je vybaven planachromatickými objektivy s velkým poměrem zoomu 1:8 a plynulým zvětšením 6,2 – 50x. Pozorovaný předmět může být osvětlován kombinací vrchní plynule regulovatelnou halogenovou lampou o výkonu 15W a spodním osvětlením fluorescenční zářivkou 5W. Model mikroskopu SZP 3112–T byl vybavený digitální kamerou CMOS (není na obrázku) pro online sledování a snímání obrázků v počítači. Pomocí mikroskopu Arsenal byly pořízeny fotografie nástrojů.

Technická údaje:

- rozsah zvětšení: 6,2 – 50x,
- otočné stereoskopické hlavice s dioptrickou aretací obou tubusů v rozmezí  $\pm 5D$ ,
- ultraširoké okuláry WFH 10x/21 mm,
- planachromatické objektivy s koeficienty 0,62; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0,
- ZOOM 0,62 – 5,0x (1,8),
- ostření v rozsahu 80 mm,
- maximální výška pozorovaného předmětu 240 mm,
- pracovní vzdálenost 60 mm,
- vrchní osvětlení halogenovou lampou s plynulou regulací intenzity 6V 15W, spodní osvětlení fluorescenční zářivkou 220-240V 5W,
- hmotnost přístroje: 10,8 kg,
- rozměry přístroje: 330 x 310 x 450 mm [19].



Obr. 35. Stereoskopický mikroskop Arsenal SZP 3112–T [19]

### 5.7 Pracoviště vizuální kontroly

Pracoviště vizuální kontroly se nachází v metrologické laboratoři KOM v areálu TUL – budova E. Na pracovišti je rozebíratelná ocelová konstrukce svírající bílé plastové pozadí (obr. 36). Osvětlení zajišťují dvě záblesková zařízení Fomei. Obrazová do-

kumentace byla pořízena pomocí digitální zrcadlovky Canon EOS 1000D s 10 megapixelovým CMOS snímačem.



Obr. 36. Pracoviště vizuální kontroly

## 6 Vlastní řešení

### 6.1 Příprava vzorku a pracoviště pro experiment

Pro realizaci experimentu bude použit materiál z oceli ČSN 14 220.3 o průřezu 80 x 70 mm. Ten bude příčně nařezán pomocí pásové pily PILUS ARG 300 plus s dorazem na polotovary o výšce 30 mm. Vzorek o rozměrech 80 x 70 x 30 mm bude pro bezpečnou manipulaci a bezvadné upnutí do svěráku zbaven nežádoucích otřepů pomocí dílenského pilníku.

Před vlastním experimentem bude nejprve připraven stroj včetně nástroje. Na předem očištěnou pracovní plochu stroje bude upevněn dílenský svěrák. Upevnění bude provedeno přibližně na střed pracovní plochy pomocí šroubů a podložek zasunutých do T drážek stolu. Do vřetena stroje bude pomocí pneumatického mechanismu upnut kleštinový upínač pro následné upnutí nástroje. Polotovary připravené pro experiment budou upínány podle přesné podložky mezi čelistmi dílenského svěráku.

Při experimentech zjišťování trvanlivosti nástroje bude třeba často měnit procesní kapalinu, proto bude použita externí čerpací jednotka EmP (obr. 32). Použitím externí čerpací jednotky se zkrátí doba potřebná k výměně procesní kapaliny. Výměna

bude probíhat následovně. Stávající obsah zásobníku se přelije do prázdného barelu. Poté se zásobník naplní vodou a ta se nechá několik minut cirkulovat v systému. Cirkulace obyčejné vody bude opakována 2x, aby se zajistilo dostatečné pročištění systému. Poté se prázdný zásobník opět naplní vodou a přimíchá se koncentrát procesní kapaliny. Po důkladném promíchání se změří koncentrace pomocí refraktometru (obr. 33) a případně se doplní voda nebo koncentrát. Následně se zapne cirkulace systému a měření se opakuje.

### *Specifikace oceli ČSN 14 220.3*

Konstrukční nízko legovaná ocel 14 220 je dobře tvárná za tepla a po žíhání na měkko (první doplňková číslice 3) i za studena. Dále je dobře obrobitelná a svařitelná. Vhodná pro součásti do  $\varnothing$  35 mm k zušlechtnění, k cementování s velkou pevností v jádře např. hřídele, ozubená kola, pístní čepy a zubové spojky.

## 6.2 Použité procesní kapaliny

Pro experimentální řešení bakalářské práce bylo zvoleno 12 různých typů procesních kapalin. Důvodem použití těchto procesních kapalin je komplexní porovnání výsledků ekologických kapalin nové generace od společnosti Paramo a běžných kapalin od světových výrobců.

Procesní kapaliny nové generace od společnosti Paramo (ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.0F, ESOK 1.1B, ESOK 1.1D) se vyznačují garancí zdravotní nezávadnosti a splňují v maximální míře ekologické požadavky. Z hlediska úrovně šetrnosti vůči zdraví pracovníků a životnímu prostředí se jedná o procesní kapaliny „šetrné“ a „velmi šetrné“. Základní složkou všech procesních kapalin je demineralizovaná voda a všechny kapaliny obsahovaly korozní inhibitor. Jednotlivé procesní kapaliny se odlišují pouze systémem mazivostních přísad:

- ESOK 1.0D - obsahuje polyalkylenglykol střední viskozity,
- ESOK 1.0E - obsahovala polyalkylenglykol nižší viskozity,
- ESOK 1.0F - obsahovala polyalkylenglykol velmi vysoké viskozity
- ESOK 1.1B - obsahovala směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné,
- ESOK 1.1D - obsahovala směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na solích thiokyselin.

*Paramo EOPS 1030*

Polosyntetická univerzální obráběcí kapalina s vyváženým chladicím a mazacím účinkem pro široké spektrum obráběcích operací jak nástroji s přesně definovanou geometrií, tak i s nástroji, kde geometrie břitu není přesně definována. Používá se pro broušení měkkých ocelí, bezhroté broušení měkkých i tepelně zpracovaných ocelí, soustružení, frézování, obrábění osovými nástroji na obráběcích centrech i univerzálních obráběcích strojích [23]. Technické parametry kapaliny jsou uvedeny v tab. 1.

<b>Paramo EOPS 1030</b>	
Vlastnosti	Hodnota
Vzhled	Kapalina
Barva	Žlutá
pH	max. 9,4 emulze 5% při 20°C
Hustota	976 kg/m <sup>3</sup> při 15 °C
Kinematická viskozita	75 mm <sup>2</sup> /s při 40 °C
Koeficient refrakce	1,1

Tab. 1. Technické parametry EOPS 1030 [23]

*Blaser Grindex 10*

Moderní syntetická vodou mísitelná kapalina vhodná pro operace broušení. Vyznačuje se dobrým chladicím a čistícím účinkem s nízkým sklonem k pěnění. Ochrana proti korozi obrobku je zajištěna i při nízkých koncentracích procesní kapaliny. Nenarušuje nátěry a kovové části obráběcích strojů [24]. Technické parametry kapaliny jsou uvedeny v tab. 2.

<b>Blaser Grindex 10</b>	
Vlastnosti	Hodnota
Vzhled	Kapalina
Barva	Průhledná, žlutá
pH	8,7 – 9,2 emulze 4%
Koeficient refrakce	1,6

Tab. 2. Technické parametry Blaser Grindex 10 [24]

*Blaser Vasco 1000*

Vodou mísitelná vysoce výkonná univerzální procesní kapalina na bázi přírodního esteru (řepkový olej) bez EP (Extreme-Pressure) přísad. Může být použita pro všechny operace obrábění. Je vhodná pro všechny materiály zvláště pak pro ocele s vysokým obsahem legur [25]. Technické parametry kapaliny jsou uvedeny v tab. 3.

<b>Blaser Vasco 1000</b>	
Vlastnosti	Hodnota
Vzhled	Kapalina
Barva	Mléčná
pH	8,5 – 9,2
Hustota	0,96 g/cm <sup>3</sup> při 20°C
Koeficient refrakce	1

Tab. 3. Technické parametry Blaser Vasco 1000 [25]

*Blasocut BC 35 Kombi*

Je speciálně navržená kapalina na bázi minerálních olejů pro téměř všechny operace. Může být použita pro operace broušení i řezání. Unikátní složení zajišťuje výbornou mazací schopnost kapaliny pro všechny operace. Vyznačuje se dlouhou životností v centrálních systémech i samostatných strojích [25]. Technické parametry kapaliny jsou uvedeny v tab. 4.

<b>Blasocut BC 35 Kombi</b>	
Vlastnosti	Hodnota
Vzhled	Kapalina
Barva	Mléčná
pH	8,5 – 9,2
Hustota	0,95 g/cm <sup>3</sup> při 20°C
Koeficient refrakce	1

Tab. 4. Technické parametry Blasocut BC 35 Kombi [25]

*Houghton HOCUT 795-B*

Jedná se o mléčnou emulzi s velmi nízkým sklonem k pěnivosti a s vysoce výkonnými mazacími aditivami. Tato formulace zajišťuje vynikající kvalitu obráběné plochy

a vysokou trvanlivost nástrojů. Zároveň zajišťuje nadstandardní životnost emulze v systému. HOCUT 795-B je velmi bezpečným produktem pro používání, neobsahuje totiž žádná aditiva na bázi chloru ani biocidy. Vlastnosti produktu ho předurčují k obrábění hliníku, slitin hliníku a pro vysoce jakostní legované oceli. Kapalina je předurčena pro aplikaci ve vysokotlakých systémech chlazení v moderních CNC automatech [6]. Technické parametry kapaliny jsou uvedeny v tab. 5.

<b>Houghton HOCUT 795-B</b>	
Vlastnosti	Hodnota
Vzhled	Kapalina
Barva	Transparentní
pH	8,7 – 9,2 při 5% koncentraci
Hustota	0,94 g/cm <sup>3</sup> při 15°C
Koeficient refrakce	1

Tab. 5. Technické parametry Houghton HOCUT 795-B [6]

#### *Cimcool Cimstar 620*

Cimstar 620 je polosyntetická univerzální procesní kapalina určená pro střední a těžké operace broušení. Je vhodná pro obrábění všech železných a některých neželezných kovů např. hliníku. Technické parametry kapaliny jsou uvedeny v tab. 6.

<b>Cimcool Cimstar 620</b>	
Vlastnosti	Hodnota
Vzhled	Kapalina
Barva	Jantarová
Zápach	Mírný
pH	9,1 při 5% koncentraci a 20°C
Hustota	1000 kg/m <sup>3</sup> při 20°C
Viskozita	320 mm <sup>2</sup> /s při 20°C
Koeficient refrakce	1,4

Tab. 6. Technické parametry Cimcool Cimstar 620



### 6.3 Metodika určování trvanlivosti

Veškeré experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje budou prováděny konstantních podmínek, které shrnuje tab. 7.

#### *Charakteristika experimentu určování trvanlivosti nástroje*

Experimenty vrtání budou realizovány na konvenční frézce FNG 32 (obr. 37). Připravené polotovary z materiálu 14 220.3 budou pomocí přesné podložky upnuty do strojního svěráku tak, aby je bylo možné provrtat v celé výšce. Pro každé měření bude použit vždy nový nástroj.

Koncentrace procesních kapalin bude kontrolována pomocí ručního refraktometru Brix 0 – 18 % ATC (obr. 33).



Obr. 37. Frézka FNG 32 připravená pro experiment



Obr. 38. Nástrojová lupa Brinell

Místo měření	laboratoř třískových technologií LTT, TU v Liberci, budova L
Stroj	frézka FNG 32
Obráběný materiál	ocel ČSN 14 220.3 - rozměr zkušební vzorku: 70x80 mm, výška 30 mm
Nástroj	- vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121 z rychlořezné oceli
Způsob obrábění	- vrtání
Řezné prostředí	<p>- procesní kapaliny firmy PARAMO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ESOK 1.0D – koncentrace 5 %,</li> <li>- ESOK 1.1D – koncentrace 5 %,</li> <li>- ESOK 1.1B – koncentrace 5 %,</li> <li>- ESOK 1.0E – koncentrace 5 %,</li> <li>- ESOK 1.0F – koncentrace 5 %,</li> <li>- EOPS 1030 – koncentrace 5 %</li> </ul> <p>- procesní kapaliny od světových výrobců:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blaser Grindex 10 – koncentrace 5 %,</li> <li>- Blaser Vasco 1000 – koncentrace 5 %,</li> <li>- Blasocut BC 35 Kombi – koncentrace 5 %,</li> <li>- Houghton HOCUT 795-B – koncentrace 5 %,</li> <li>- Cimcool Cimstar 620 – koncentrace 5 %</li> </ul> <p>- voda (užitková voda z vodovodního řádu o teplotě cca 18°C)</p> <p>Pozn.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- procesní kapalina byla do místa řezu přivedena pomocí modulárního systému LOC - LINE</li> </ul>
Průtok procesní kapaliny	1,34 [l.min <sup>-1</sup> ]
Řezná rychlost	76,65 [m.min <sup>-1</sup> ]
Posuv na otáčku	0,05 [mm.ot <sup>-1</sup> ]
Průměr vrtáku	8,0 [mm]
Opakování měření	- 2x pro měřenou veličinu
Měřené veličiny	<ul style="list-style-type: none"> <li>- délka opotřebení na vedlejším hřbetu vrtáku</li> <li>- šířka opotřebení příčného ostří vrtáku</li> </ul>
Měřicí přístroje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nástrojová lupa BRINELL (měření velikosti opotřebení)</li> <li>- refraktometr BRIX 0 – 18 % ATC (měření koncentrace)</li> </ul>

Tab. 7. Podmínky vrtání konstrukční oceli

*Charakteristika měření opotřebení*

Pro měření opotřebení vrtáku bude použita nástrojová lupa Brinell (obr. 38). Při zkoumání různých procesních kapalin budou pozorovány 2 různé druhy opotřebení vrtáků:

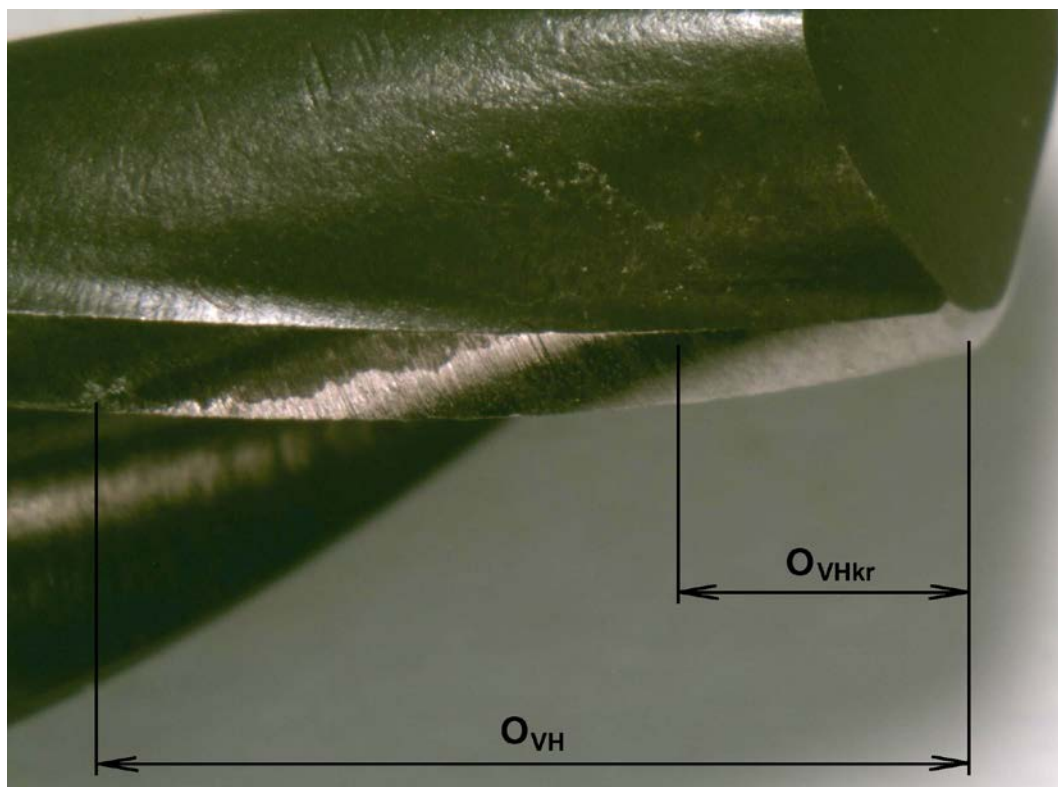
- **opotřebení vedlejšího hřbetu** (fazetky)  $O_{VH}$  je zobrazeno na obr. 40, kritériální hodnota  $O_{VHkr}$  tohoto druhu opotřebení bude stanovena na 3 mm,
- **opotřebení příčného ostří**  $O_{PO}$  je zobrazeno na obr. 42, kritériální hodnota  $O_{POkr}$  tohoto druhu opotřebení bude stanovena na 0,3 mm.

Na obr. 39 a obr. 41 je zobrazen nový vrták ve stejném pohledu jako vrták opotřeбенý na obr. 40 a obr. 42.

Proces vrtání konstrukční oceli vrtákem z rychlořezné oceli se při daných řezných podmínkách vyznačuje zvláštním průběhem. Zvláštnost procesu se projevuje v rychlosti nárůstu opotřebení. V průběhu první fáze procesu vrtání nebude pozorováno žádné opotřebení nástroje a hluk způsobený řezáním nástroje bude v této fázi stabilní. Dobu trvání první fáze nebude možné odhadnout. Ve druhé fázi procesu vrtání se velmi rychle zvýší opotřebení z prakticky nulové hodnoty až za velikost kritéria opotřebení. Ukazatelem nárůstu opotřebení bude změna hluku vyvolaného řezáním nástroje (změna ze stabilního hluku na přerušovaný hlasitý hluk středních až vysokých frekvencí). V tento okamžik bude třeba ihned zastavit stroj a změřit velikost opotřebení. Pokud nebude stroj včas zastaven, dojde k velkému nárůstu tepla v místě řezu, což bude mít za následek odtavení materiálu a zničení nástroje (obr. 43). Tento jev se může projevit kdykoliv během experimentu, hrozí tak nejen zničení nástroje, ale i poškození vřetena stroje.



Obr. 39. Vedlejší hřbet nového vrtáku

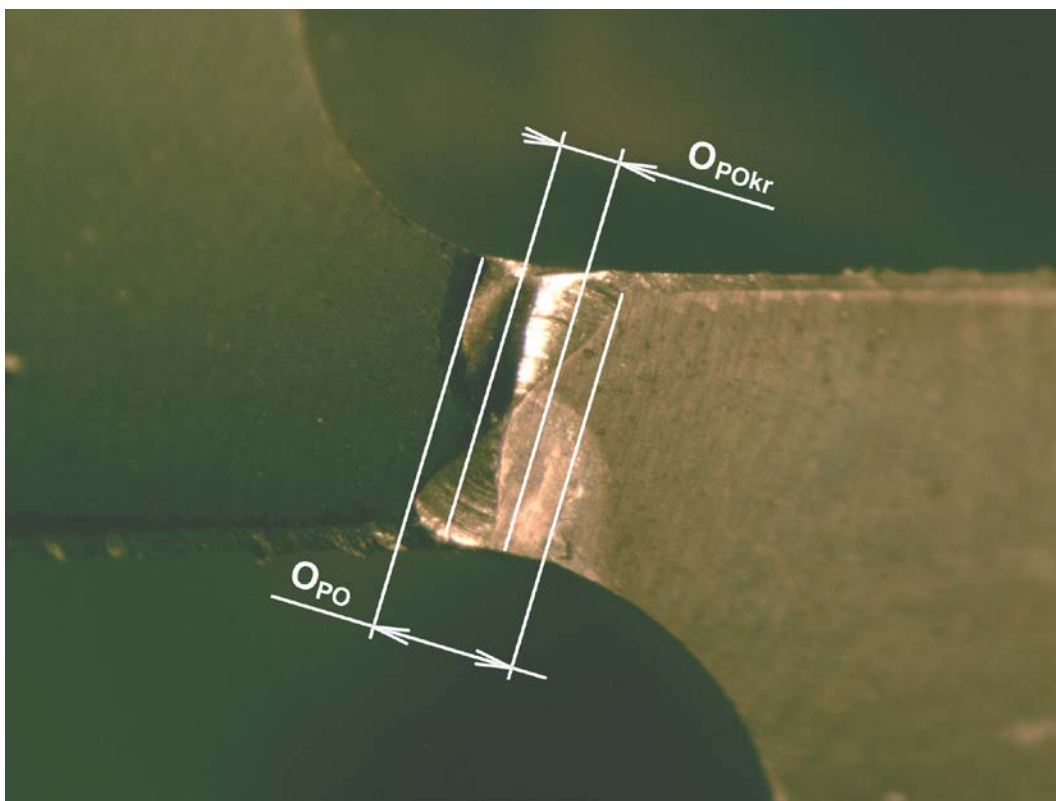


Obr. 40. Vedlejší hřbet opotřeбенého vrtáku

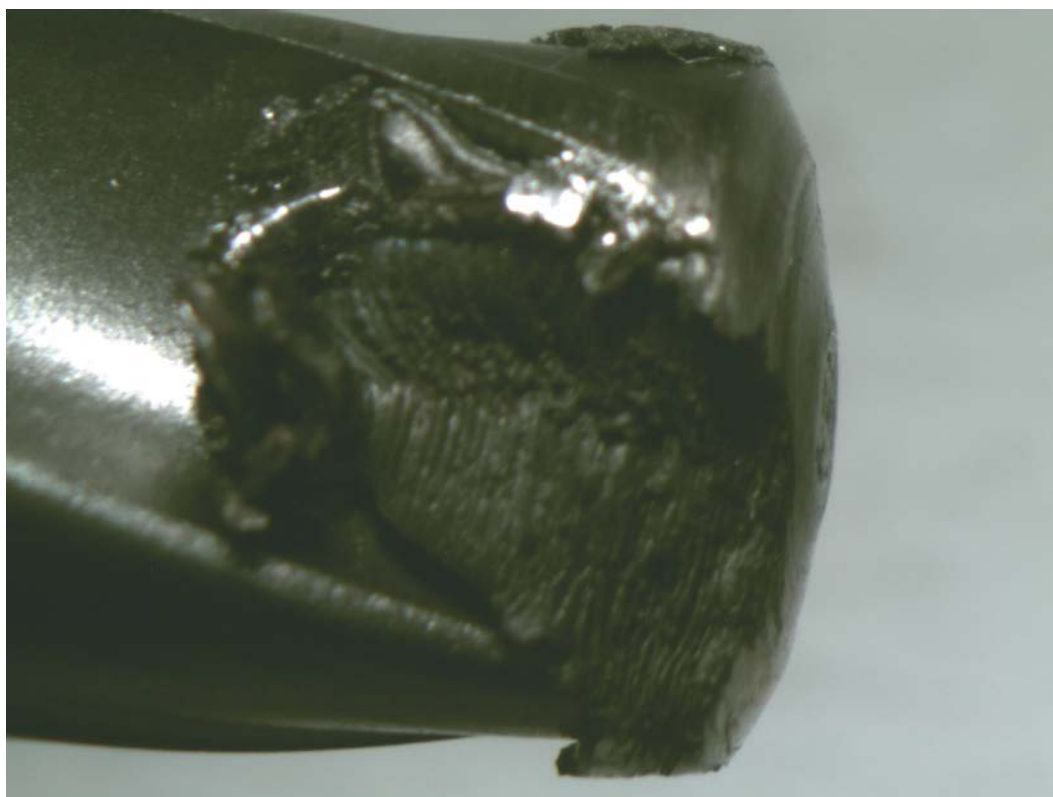


obr. 41 Příčné ostří nového vrtáku





Obr. 42. Příčné ostří opotřeбенého vrtáku



Obr. 43. Zničený vrták

### Charakteristika postupu hodnocení trvanlivosti nástroje

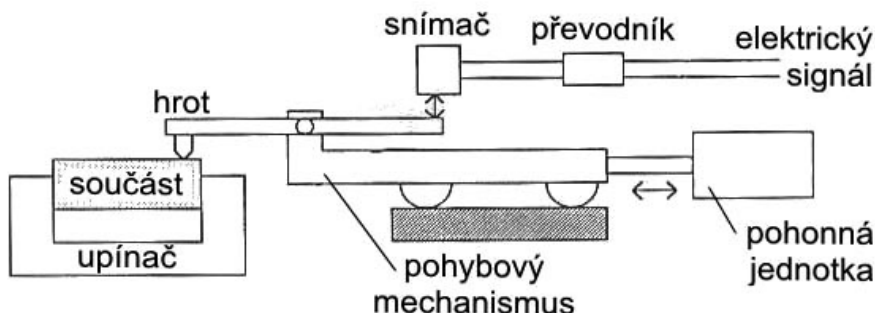
Při každém experimentu bude zjišťována trvanlivost nástroje. Vrtání konstrukční oceli s použitím konkrétní procesní kapaliny bude zopakováno 2x. Pouze dvakrát opakované měření bylo po domluvě se zadavatelem projektu zvoleno v důsledku nebezpečí zničení stroje. V případě velkého rozdílu trvanlivostí mezi 1. a 2. měřením bude provedeno měření třetí. Ze tří naměřených hodnot trvanlivosti bude následně vyřazena ta, která nejvíce vybočovala. Dále bude pracováno pouze se zbývajících dvěma hodnotami. Trvanlivost bude určena počtem obrobených děr  $N$ . V případě, že bude práce zastavena po obrobení více jak poloviny výšky obrobku a následnou kontrolou se zjistí pouze opotřeбенý nástroj, bude díra započítána do celkového počtu  $N$  děr. V jiných případech nikoliv. Pro výpočet trvanlivosti v jednotkách času bude použit vzorec (rov. 7).

$$T = \frac{N \cdot h}{f} \quad (7)$$

Trvanlivost pro danou kapalinu bude stanovena jako aritmetický průměr z obou provedených měření. Průměrné trvanlivosti pro jednotlivé procesní kapaliny budou dále mezi sebou porovnány a procesní kapalina, při které bude dosažena největší průměrná trvanlivost, bude vyhodnocena jako nejlepší.

#### 6.4 Metodika určování drsnosti povrchu

Pro měření parametrů drsnosti vrtaných děr bude použit profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000N2 (obr. 34), který pracuje na principu dotykové metody snímání povrchu. Přístroj se skládá z mechanické a elektronické části. Vertikální nerovnosti povrchu se snímají pomocí diamantového hrotu na mechanické části přístroje. Tento pohyb je v převodníku transformován na elektrický signál, který je dále zpracováván.



Obr. 44. Princip snímání povrchu dotykovým způsobem (dle [15])

Schéma mechanismu přístroje je zobrazeno na obr. 44. Zpracování naměřených dat je prováděno v dodávaném softwaru „Surfpak“ v připojeném počítači.

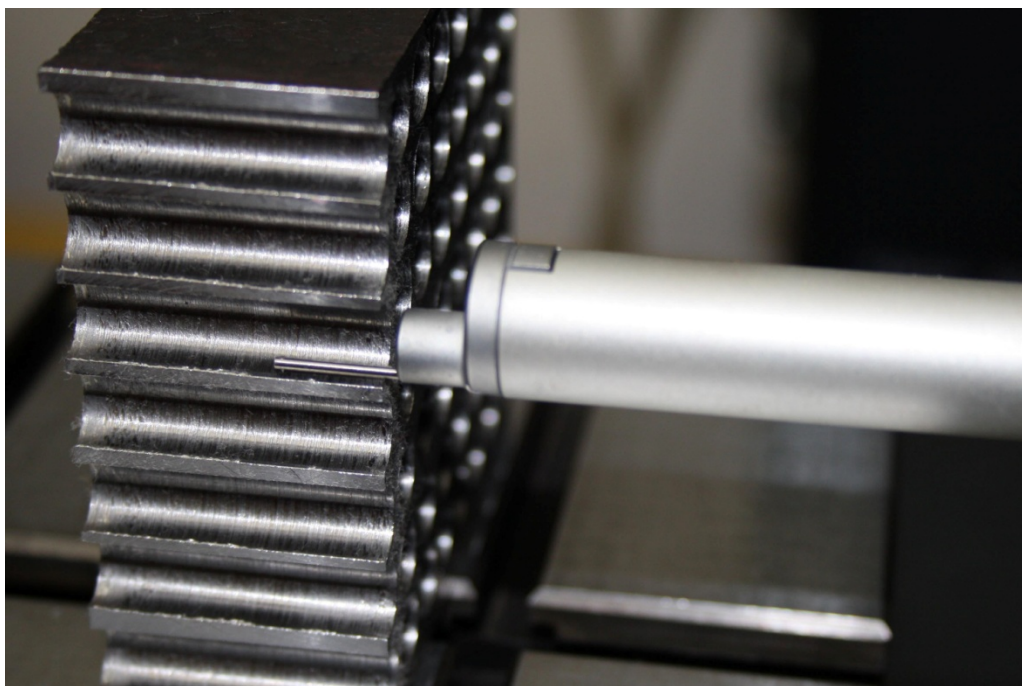
Pro měření drsnosti vnitřní válcové plochy byl použit dotyk č. 12AAB404 -  $5\mu\text{m}$   $90^\circ$  zobrazený na obr. 45.



Obr. 45. Dotyk č. 12AAB404 -  $5\mu\text{m}$   $90^\circ$

#### *Charakteristika měření drsnosti povrchu*

Drsnost povrchu bude snímána kolmo na směr nerovností. Na obr. 46 je zachycen proces snímání drsnosti povrchu u vzorku opatřeného řezem. Aby byly zajištěny stejné podmínky měření u všech zkušebních vzorků, bude drsnost měřena vždy v první vrtané díře v sérii s novým vrtákem. Při vrtání první díry budou po provrtání materiálu vzorku zastaveny otáčky vřetena a nástroj bude vertikálně vysunut. Tímto způsobem se minimalizuje riziko poškození obrobené plochy třískami ve šroubovici vrtáku i samotným nástrojem při zpětném pohybu. Dle *metodiky určování trvanlivosti* bude experiment opakován 2x pro každou procesní kapalinu, přičemž se vytvoří 2 díry pro měření



Obr. 46. Řez vzorkem při snímání drsnosti

drsnosti. Pro měření drsnosti bude náhodně vybrána pouze jedna z nich. Řezné podmínky a způsob přívodu procesní kapaliny do místa řezu bude totožný jako u *metodiky určování trvanlivosti* shrnuté v tab. 7.

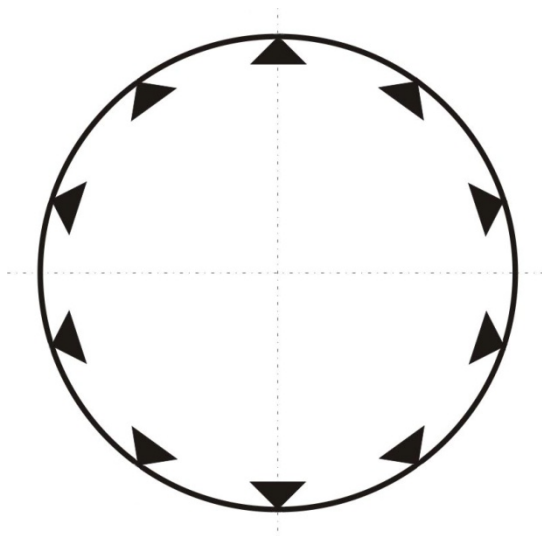
Pro komplexní představu o jakosti obrobeného povrchu budou z velkého množství, které umožňuje software Surfpak vypočítat, zvoleny následující parametry definované normou:

- **Ra** – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu,
- **Rz** – největší výška profilu.

A dále jeden parametr nenormovaný:

- **c<sub>tp50</sub>** – hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 (50% měřeného materiálu a 50% vzduchu).

Z důvodu dobré reprodukovatelnosti a v rámci co nejlepšího pokrytí vzorků náměrovými místy bude měření opakováno 10x. Místa těchto měření budou zvolena podle obr. 47 v hloubce přibližně 10 mm.

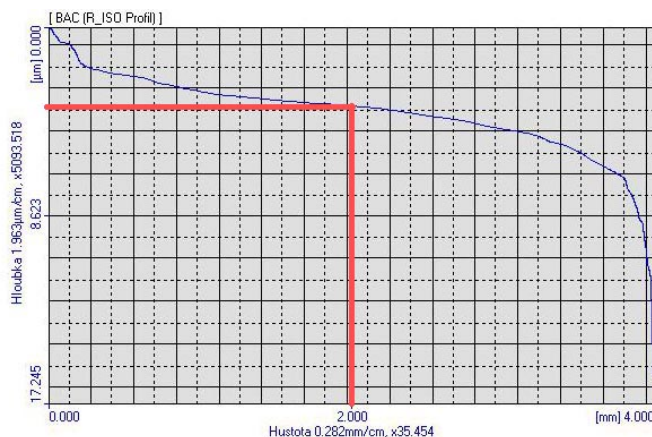


Obr. 47. Místa měření drsnosti vnitřní rotační součásti

Pro další vyhodnocení naměřených dat budou výsledky měření exportovány ve formátu \*.csv.

K vyhodnocení výsledků měření bude použit tabulkový program MS Excel. Parametry měření **Ra** a **Rz** budou přímo vypočteny pomocí softwaru Surfpak. Nenormovaný parametr **c<sub>tp50</sub>** bude určen z grafu Abbottovy křivky pomocí lineární interpolace (obr. 48). Abbottova křivka bude vykreslena automaticky programem Surfpak a ukládána ve formátu \*.jpg. Charakteristický tvar Abbottovy křivky pro jednotlivé experimenty bude připojen k výsledkům měření v příloze 2.





Obr. 48. Abbottova křivka

Výsledky měření budou statisticky zpracovány podle postupu, který je uveden v normě ČSN ISO 8688-1 - Testovanie trvanlivosti pri frézování.

Nejprve bude nutné určit aritmetické hodnoty jednotlivých opakování. Symbol  $x$  představuje naměřenou hodnotu parametru drsnosti povrchu. Střední hodnota  $\bar{x}$  byla vypočtena jako podíl součtu výsledků z každého měření souboru počtem opakování  $n$ :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (8)$$

Normalizovaná odchylka  $s$  bude vypočtena jako odmocnina součtu čtverců všech rozdílů mezi individuálními hodnotami každého opakování  $x_i$  a střední hodnoty  $\bar{x}$ , dělené počtem opakování  $n - 1$ .

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

Statistický interval spolehlivosti definovaný jako interval, v rámci kterého výsledky dalšího zkušebního testu budou umístěny s předpokládanou pravděpodobností, bude vypočten jako střední hodnota  $\bar{x}$  plus a minus její variace:

$$\bar{x}_{max} = \bar{x} + t \frac{s}{\sqrt{n - 1}} \quad (10)$$

a

$$\bar{x}_{min} = \bar{x} - t \frac{s}{\sqrt{n - 1}} \quad (11)$$

kde  $t$  je konstanta 2,2622 pro úroveň spolehlivosti 95% a stupeň volnosti 10.

Vypočtené odchylky včetně statistického intervalu spolehlivosti budou zaznamenány do tabulky a do grafu budou vyneseny průměrné hodnoty.

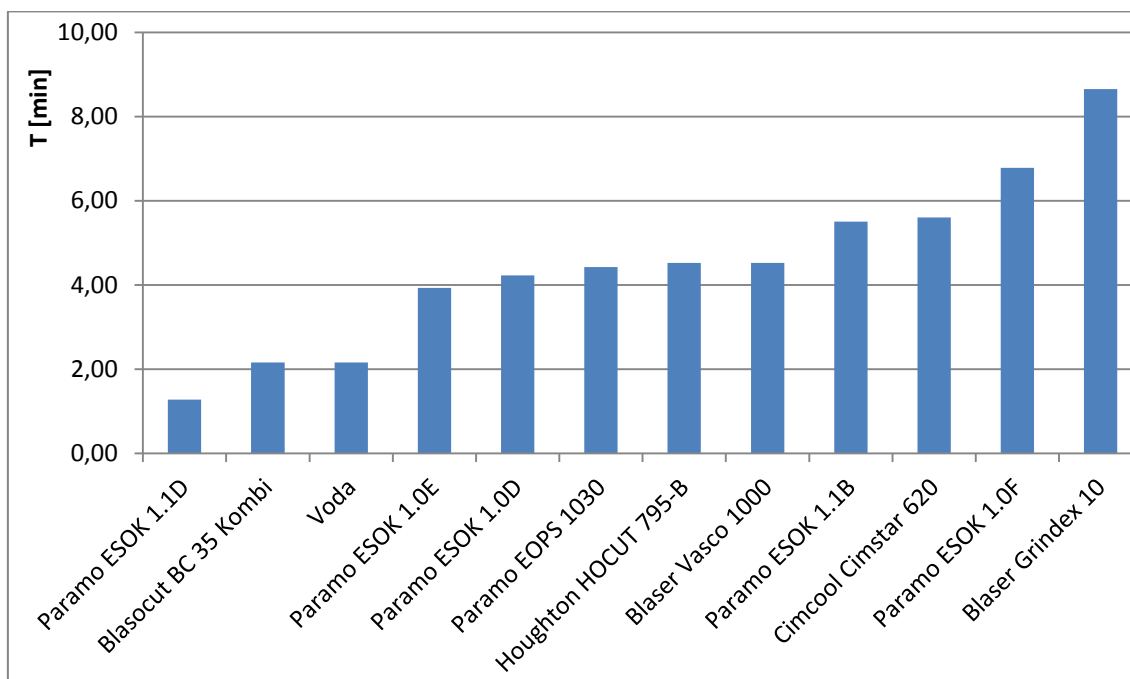
## 7 Vyhodnocení experimentů

Vliv řezného prostředí na proces vrtání konstrukční oceli byl zkoumán při použití procesních kapalin uvedených v tab. 7. Účinek procesních kapalin na technologii vrtání byl hodnocen podle:

- dosažené trvanlivosti nástrojů,
- drsnosti povrchu určené parametry  $Ra$  a  $Rz$ ,
- nosného podílu profilu obrobených povrchů  $c_{p50}$ .

### 7.1 Vyhodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje

U experimentu byl zkoumán vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje. Zjišťování trvanlivosti nástroje bylo provedeno za konstantních řezných podmínek dle *metodiky určování trvanlivosti* pro všechny procesní kapaliny. Celkové pořadí procesních kapalin, které byly seřazeny vzestupně dle dosažené průměrné trvanlivosti, jsou zobrazeny v grafu 1. Průměrné hodnoty trvanlivosti jsou uvedeny v tab. 8.



Graf 1. Trvanlivosti nástrojů

Při vrtání konstrukční oceli 14 220.3 řeznými podmínkami shrnutými v tab. 7 bylo dosaženo nejvyšší trvanlivosti nástroje s použitím kapaliny Blaser Grindex 10. Naopak procesní kapalina ESOK 1.1D se projevila jako nevhodná pro použití za těchto podmínek. V porovnání s vodou byl její vliv na proces vrtání negativní. Rozdíl mezi maximální a minimální dosaženou trvanlivostí činil 85,2 % z nejvyšší hodnoty. Použí-

tím procesní kapaliny Blaser Grindex 10 bylo dosaženo 4x vyšší trvanlivosti než při použití vody.

Procesní kapalina	Trvanlivost T [min]
ESOK 1.1D	1,28
Blasocut BC 35 Kombi	2,16
Voda	2,16
ESOK 1.0E	3,93
ESOK 1.0D	4,23
EOPS 1030	4,43
Houghton HOCUT 795-B	4,52
Blaser Vasco 1000	4,52
ESOK 1.1B	5,51
Cimcool Cimstar 620	5,61
ESOK 1.0F	6,79
Blaser Grindex 10	8,66

Tab. 8. Trvanlivost nástrojů

Formuláře obsahující výsledky měření a fotografie opotřebení jsou uvedeny v příloze 1.

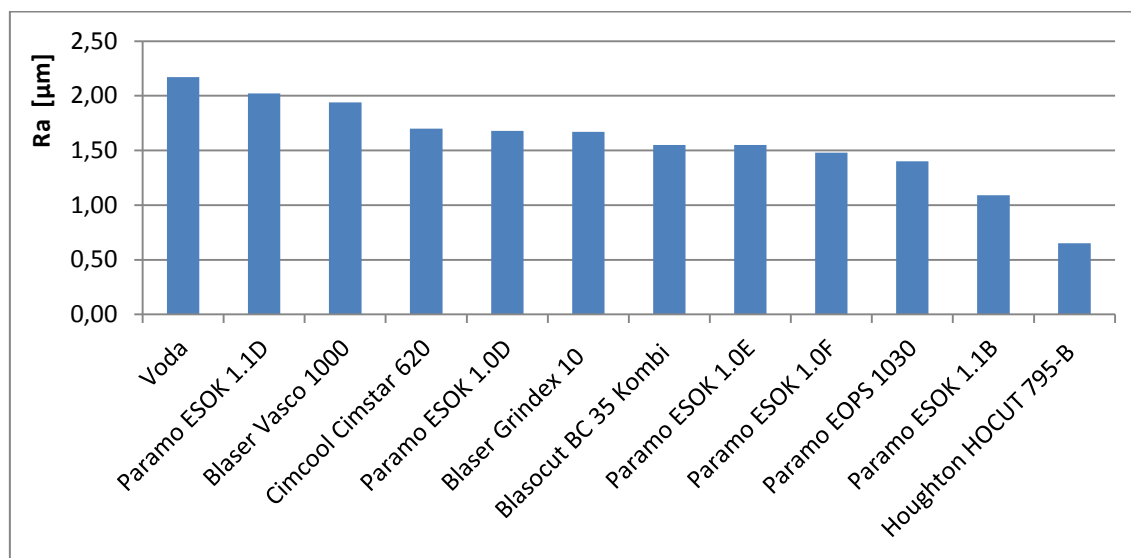
## 7.2 Porovnání procesních kapalin z hlediska dosažené drsnosti

Procesní kapaliny byly dále hodnoceny podle svého vlivu na výslednou drsnost povrchu obrobeného vzorku. Měření bylo prováděno podle *metodiky určování drsnosti povrchu*. V jedné náhodně zvolené díře ze dvou připravených bylo měření 10x opakováno a výsledky statisticky zpracovány. Hodnoceny byly tyto parametry ***Ra***, ***Rz*** a ***c<sub>tp50</sub>***.

Výsledky statisticky zpracovaných dat parametrů ***Ra***, ***Rz*** a ***c<sub>tp50</sub>*** jsou uvedeny v tab. 9. Tabulka je abecedně seřazena podle názvu procesní kapaliny.

Celkové pořadí procesních kapalin seřazených sestupně dle velikosti parametru drsnosti ***Ra*** je zakresleno do grafu 2.

Procesní kapalina	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	c <sub>tp50</sub> [ $\mu\text{m}$ ]
Blaser Grindex 10	1,67 $\pm$ 0,24	9,99 $\pm$ 1,40	3,53 $\pm$ 0,88
Blaser Vasco 1000	1,94 $\pm$ 0,21	10,56 $\pm$ 0,86	3,47 $\pm$ 1,06
Blasocut BC 35 Kombi	1,55 $\pm$ 0,10	9,98 $\pm$ 1,03	5,11 $\pm$ 1,14
Cimcool Cimstar 620	1,70 $\pm$ 0,18	9,83 $\pm$ 0,95	3,23 $\pm$ 0,71
Houghton HOCUT 795-B	0,65 $\pm$ 0,16	4,96 $\pm$ 0,89	1,82 $\pm$ 0,72
Paramo EOPS 1030	1,40 $\pm$ 0,06	7,99 $\pm$ 0,46	3,21 $\pm$ 0,67
Paramo ESOK 1.0D	1,68 $\pm$ 0,29	9,66 $\pm$ 1,23	4,18 $\pm$ 1,14
Paramo ESOK 1.0E	1,55 $\pm$ 0,28	9,69 $\pm$ 1,63	5,72 $\pm$ 2,80
Paramo ESOK 1.0F	1,48 $\pm$ 0,19	9,00 $\pm$ 1,01	2,52 $\pm$ 0,50
Paramo ESOK 1.1B	1,09 $\pm$ 0,15	6,74 $\pm$ 0,92	2,88 $\pm$ 0,53
Paramo ESOK 1.1D	2,02 $\pm$ 0,39	11,78 $\pm$ 1,53	5,09 $\pm$ 1,36
Voda	2,17 $\pm$ 0,19	12,82 $\pm$ 1,00	6,21 $\pm$ 1,23

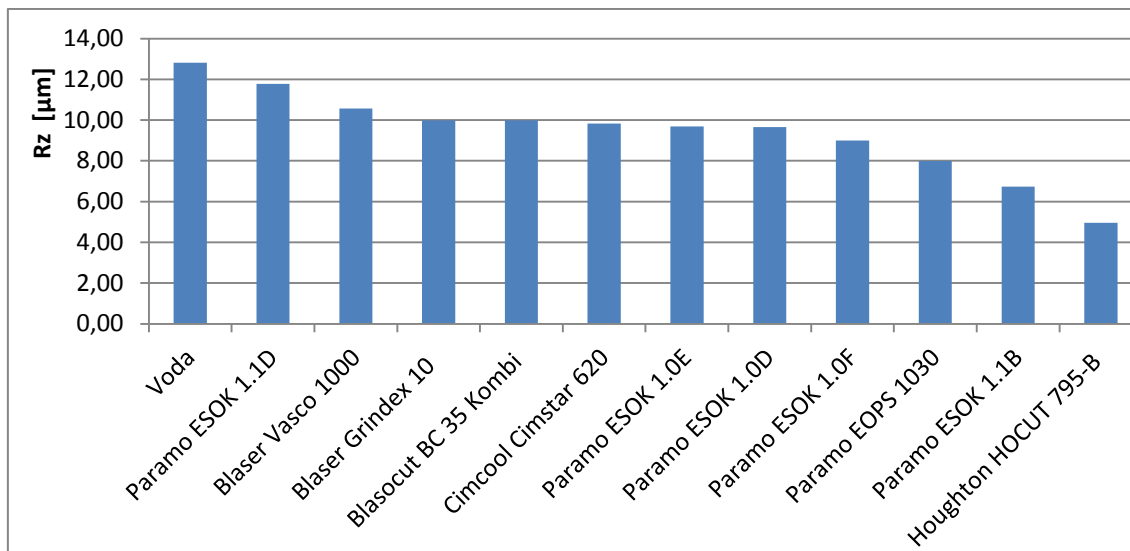
Tab. 9. Hodnoty parametrů Ra, Rz a c<sub>tp50</sub>

Graf 2. Střední hodnoty parametru drsnosti Ra

Při vrtání s použitím procesní kapaliny Houghton HOCUT 795-B bylo dosaženo nejnižší hodnoty parametru drsnosti povrchu **Ra**. Podle předpokladu byla nejvyšší drsnost naměřena v díře obrobené s použitím procesní kapaliny vody. Použitím procesní

kapaliny Houghton HOCUT 795-B byla dosažena výsledná drsnost parametru povrchu  $R_a$  o 70 % nižší než při použití vody.

Celkové pořadí procesních kapalin seřazených sestupně dle velikosti parametru drsnosti  $R_z$  je zakresleno do grafu 3.



Graf 3. Střední hodnoty parametru drsnosti  $R_z$

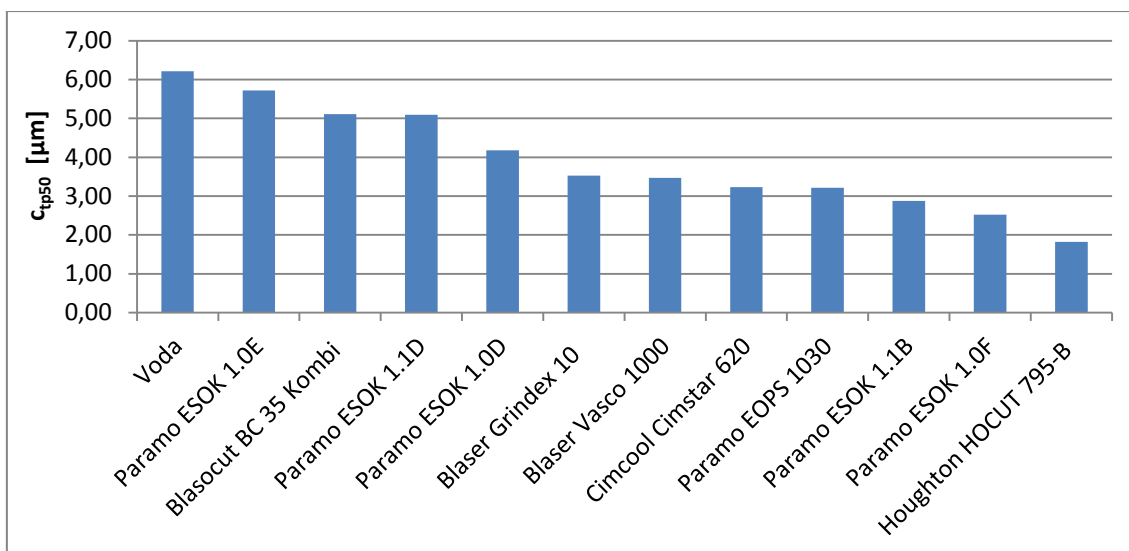
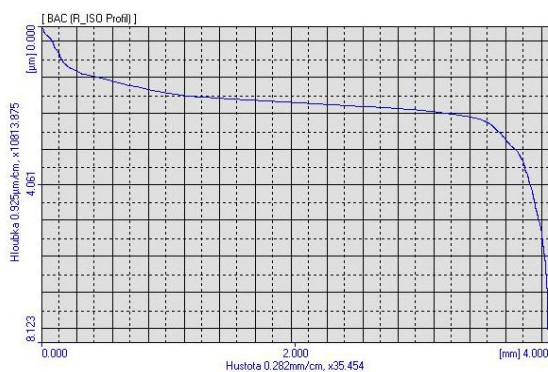
Nejnižší hodnota parametru drsnosti povrchu  $R_z$  byla opět dosažena při použití procesní kapaliny Houghton HOCUT 795-B. Největší drsnost se projevila při použití procesní kapaliny vody. Použitím procesní kapaliny Houghton HOCUT 795-B byla dosažena výsledná drsnost povrchu  $R_z$  o 61,3 % nižší než při použití vody.

Vliv procesních kapalin na proces vrtání byl dále posuzován podle účinku, který mají jednotlivé kapaliny na velikost nosného podílu profilu obrobeného vzorku. Výsledkem měření nosného podílu materiálu je Abbottova křivka. Ta je vyjádřena buď graficky, jako poměr materiálu a vzduchu v oblasti nerovností na povrchu měřeného vzorku, nebo číselně pomocí parametru  $c_{tp50}$ .

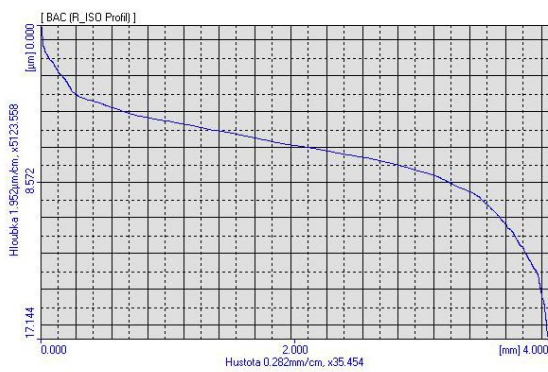
Celkové pořadí procesních kapalin seřazených sestupně dle velikosti parametru drsnosti  $c_{tp50}$  je zakresleno do grafu 4.

Nejkvalitnější povrch obrobeného vzorku byl dosažen při použití procesní kapaliny Houghton HOCUT 795-B. Naopak nejvyšší parametr  $c_{tp50}$  byl naměřen při vrtání v řezném prostředí tvořeném vodou. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou činil 70,7 %.

Charakteristické grafy Abbottovy křivky a veškeré výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze 2. Příklady Abbottových křivek jsou zobrazeny na obr. 49 a obr. 50.

Graf 4. Střední hodnoty parametru drsnosti  $c_{tp50}$ 

Obr. 49. Abbottova křivka kvalitnějšího povrchu



Obr. 50. Abbottova křivka méně kvalitního povrchu

### 7.3 Další výsledky experimentu

V průběhu experimentu zjišťování trvanlivosti byly sbírány třísky vzniklé při procesu vrtání u všech procesních kapalin. V metrologické laboratoři na pracovišti vizuální kontroly byly pořízeny fotografie těchto třísek. Výsledky měření dle ISO 3685 a fotografie třísek jsou k nahlédnutí v příloze 3. Fotografie v plném rozlišení jsou dostupné na kopii CD-ROMu přiloženého k bakalářské práci. Na CD-ROMu je možno nalézt i fotografie pořízené při obrábění.

## 8 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo porovnání vlivu procesních kapalin na technologii vrtání konstrukční oceli z hlediska trvanlivosti nástroje a jakosti obrobeného povrchu. Pro tento účel bylo vybráno 5 experimentálních kapalin nové generace od společnosti Paramo a. s., 6 procesních kapalin dostupných na trhu od různých výrobců a voda.

Vliv procesních kapalin byl zkoumán za těchto konstantních podmínek:

- přívod procesní kapaliny do místa řezu byl zajištěn modulárním systémem LOC-LINE,
- koncentrace procesních kapalin 5%,
- průtok procesní kapaliny  $1,34 \text{ [l.min}^{-1}\text{]}$ ,
- řezná rychlost  $76,65 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ ,
- posuv na otáčku  $0,05 \text{ [mm.ot}^{-1}\text{]}$ ,
- průměr vrtáku 8 mm.

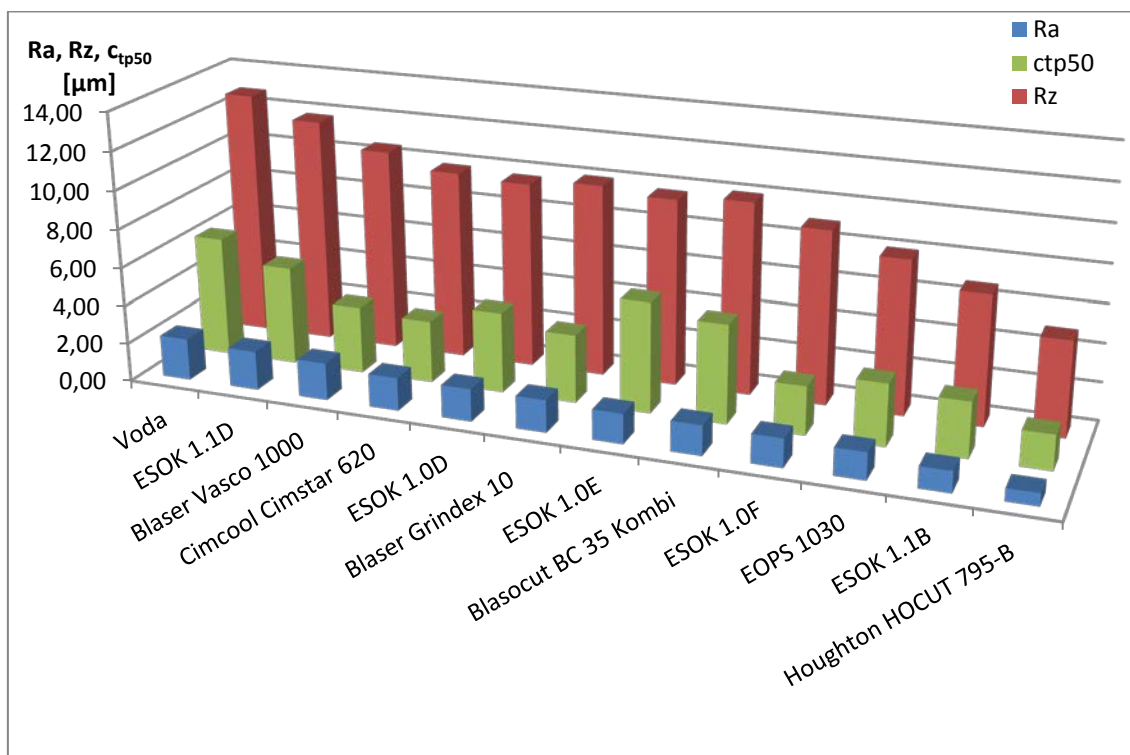
Účinek procesních kapalin na technologii vrtání byl hodnocen podle:

- dosažené trvanlivosti nástrojů,
- drsnosti povrchu určené parametry Ra a Rz,
- nosného podílu profilu obrobených povrchů  $c_{tp50}$ .

Porovnáním experimentů určování trvanlivosti nástroje bylo zjištěno, že nejpříznivější vliv na trvanlivost nástroje má procesní kapalina Blaser Grindex 10. Naopak procesní kapalina ESOK 1.1D se projevila jako nevhodná pro použití za těchto podmínek. V porovnání s vodou byl její vliv na proces vrtání konstrukční oceli z hlediska trvanlivosti nástroje negativní. Zajímavé bylo zjištění, že právě kapalina ESOK 1.1D byla vyhodnocena jako nejlepší z hlediska dosažené trvanlivosti při vrtání nerezové oceli v diplomové práci Bc. Milana Karáska. Vzhledem k chemické podobnosti kapalin ESOK 1.1D a ESOK 1.1B, které se liší pouze druhem EP aditiv, se lze domnívat, že právě EP aditiva založená na solích thiokyselin obsažených v kapalině ESOK 1.1D negativně ovlivňují proces vrtání konstrukční oceli za daných řezných podmínek a tím snižují trvanlivost nástroje. Aditiva obsažená v kapalině ESOK 1.1B se zdají být dle výsledků experimentu zjišťování trvanlivosti nástroje vhodnější pro řezání konstrukční oceli.

Zajímavostí experimentu byl současný vznik dvou různých druhů opotřebení. Charakteristika opotřebení příčného ostří a opotřebení vedlejšího hřbetu (fazetky) nástroje je popsána v kapitole *metodika určování trvanlivosti*. Opotřebené příčné ostří pravděpodobně způsobilo osovou nestabilitou nástroje při řezání a vyvolalo vibrace, které se projeví zvýšeným zatížením a následným opotřebením vedlejšího hřbetu nástroje. Tento jev se odehrával velice rychle a bylo by vhodné, ho podrobit dalšímu výzkumu.

Procesní kapaliny byly dále hodnoceny podle svého vlivu na drsnost obroběného povrchu. Z výsledků shrnutých v grafu 5 je patrný pozitivní vliv procesních kapalin na drsnost obroběné plochy v porovnání s vodou. Výsledky jsou řazeny sestupně dle parametru  $R_a$ .



Graf 5. Střední hodnoty parametrů drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  a  $c_{tp50}$

Nejkvalitnějšího povrchu obroběného vzorku bylo dosaženo při použití procesní kapaliny Houghton HOCUT 795-B a to ve všech třech hodnocených parametrech. Naopak při použití vody jako procesní kapaliny byly uvedené parametry nejvyšší. Tyto výsledky potvrdily naše očekávání.

Pořadí jednotlivých kapalin seřazených dle velikosti parametru  $R_a$  a  $R_z$  se téměř neliší. K drobným výchyilkám dochází pouze ve střední oblasti grafu, rozdílly se však prokazují zanedbatelnými hodnotami. Proto lze tvrdit, že tyto parametry spolu kore-



spondují. Kvalita povrchu obrobeného materiálu hodnoceného dle parametru  $c_{tp50}$  vykazuje rozdílné pořadí hodnot, nekoresponduje s pořadím hodnot Ra a Rz.

Výsledky této práce bylo dokázáno, že procesní kapaliny mají zásadní vliv na trvanlivost nástrojů a jakost obrobeného povrchu při vrtání konstrukční oceli. Optimální volbou z hlediska trvanlivosti nástroje a jakosti obrobeného povrchu se jeví použití procesních kapalin ESOK 1.0F a ESOK 1.1B. Je možné konstatovat, že při vrtání konstrukční oceli působí procesní kapaliny pozitivně na drsnost obrobeného povrchu. Volbě procesní kapaliny z hlediska trvanlivosti nástroje je třeba věnovat větší pozornost.

Tato bakalářská práce souvisí s řešením projektu TA02021332, který je realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím TAČR.

**Seznam použité literatury**

- [1] DRÁB, V. *Technologie I*. Liberec:-, 1985. [cit. 12. prosince 2012]. Dostupné na: [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_skr.pdf](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf). ISBN -.
- [2] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. *Obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. ISBN -.
- [3] BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. ISBN -.
- [4] VLACH, B., aj. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. ISBN -.
- [5] *Technologie III - obrábění* (soubor prezentací k výuce předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2012. [cit. 27. březen 2013]. Dostupné na: <http://www.kom.tul.cz/download.php>.
- [6] *HOCUT emulzní olej* (technické informace). [online]. -: HOUGHTON, -. [cit. 20. května 2013]. Dostupné na: <http://www.lubstar.cz/upload/files/cs/hocut-795b-pds-cz.pdf>.
- [7] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [8] BUDA, J., BÉKÉS, J. *Teoretické základy obrábění kovov*. 2. vyd. Bratislava: ALFA, 1977. ISBN -.
- [9] ČILLÍKOVÁ, M., aj. *Top trendy v obrábění – VI. část – Procesné média*. 1. vyd. Žilina: MEDIA/ST, s.r.o., 2008 ISBN 978-80-969789-3-9.
- [10] NOVÁČEK, P. *Moderní chladicí kapaliny pro obrábění. [Bakalářská práce]*. Brno, VUT Brno, 2012.
- [11] KOČMAN, K., aj. *Aktuální příručka pro technický úsek*. Překlad R. Novotný. 1. vyd. Praha: Verlag DASHÖFER, 2001. 4 svazky. ISBN 80-902247-2-5.
- [12] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., aj. *Technologie II – 1. díl*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [13] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤÁDAL, B., *Drsnost povrchu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. ISBN -.
- [14] ČSN ISO ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Březen 1999. Praha: Český normalizační institut.

- [15] *Metrologie a montáž* (přednáška č. 10: Geometrické vlastnosti povrchu) [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2012. [cit. 17. dubna 2013]. Dostupné na: <http://www.techno-mat.cz/kom-mm/> .
- [16] *Drsnoměry Diavite preciznost a inovace pro dílny i laboratoře* [online]. Praha: Technika a trh 2010. [17. dubna 2013]. Dostupné na: [http://www.uzimex.cz/download.php?file=./soubory/20100318\\_tat\\_2010-03.pdf&file\\_name=tat\\_2010-03.pdf](http://www.uzimex.cz/download.php?file=./soubory/20100318_tat_2010-03.pdf&file_name=tat_2010-03.pdf) .
- [17] *Nástrojařská frézka FNG32* [online]. Olomouc: TOS Olomouc, -, [cit. 25. dubna 2013]. Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf> .
- [18] *Nástroje značky STIMZET* (internetové stránky výrobce). [online]. Vsetín: -, -, [cit. 25. dubna 2013]. Dostupné na: <http://www.stimzet.cz/> .
- [19] *Stereoskopické mikroskopy Arsenal* [online]. Praha: Arsenal s. r. o., [cit. 29. dubna 2013]. Dostupné na: [http://www.mikroskopy-mikroskop.cz/filemanager/userfiles/PROSPEKTY/stereomikroskop\\_rada\\_SZP\\_3100\\_ZOOM\\_2012\\_05\\_01.pdf](http://www.mikroskopy-mikroskop.cz/filemanager/userfiles/PROSPEKTY/stereomikroskop_rada_SZP_3100_ZOOM_2012_05_01.pdf) .
- [20] *Drsnoměry měření jakosti povrchu* [online]. Teplice: -, -. [cit. 4. května 2013]. Dostupné na: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2609\\_Mitutoyo\\_Drsnomery.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2609_Mitutoyo_Drsnomery.pdf) .
- [21] *Optical instruments and Microscopes* [online]. -: -, -. [cit. 5. května 2013]. Dostupné na: <http://master-cold.co.il/wp-content/uploads/2012/01/Refractometers%20.pdf> .
- [22] *Drsnost povrchu dle DIN EN ISO* [online]. Teplice: HOMMEL CS s. r. o., -, [cit. 21. května 2013]. Dostupné na: <http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso> .
- [23] *Katalog výrobků* [online]. Pardubice: Paramo a. s., 2012. [cit. 19. května 2013]. Dostupné na: [http://eshop.paramo.cz/data/Tiskoviny/Paramo\\_katalog\\_vyrobku\\_N.pdf](http://eshop.paramo.cz/data/Tiskoviny/Paramo_katalog_vyrobku_N.pdf) .
- [24] *The synthetic grinding fluids* [online]. New York: Blaser Swisslube Inc., -, [cit. 19. května 2013]. Dostupné na: <http://tannerdelcentro.com/portal/pdfs/blaser/GRINDEX.pdf> .

- [25] *As user of cutting fluids ...* (základní přehled vodou mísitelných procesních kapalin). [online]. Hasle-Rüegsau: Blaser Swissslube AG, -. [cit. 19. května 2013]. Dostupné na: <http://www.aliyat.ae/pdf/blaser-swissslube/MF.pdf> .

**Přílohy:**

**příloha č. 1**

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **ESOK 1.1D**

datum měření: 5.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

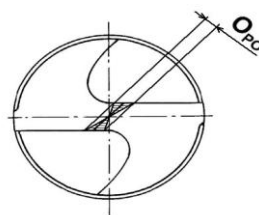
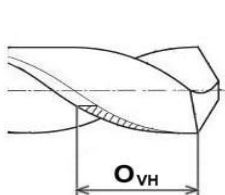
koeficient refrakce

1,85

velikost na refraktometru

2,7

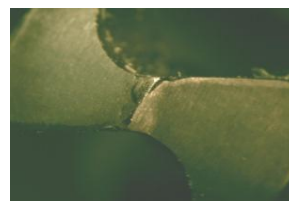
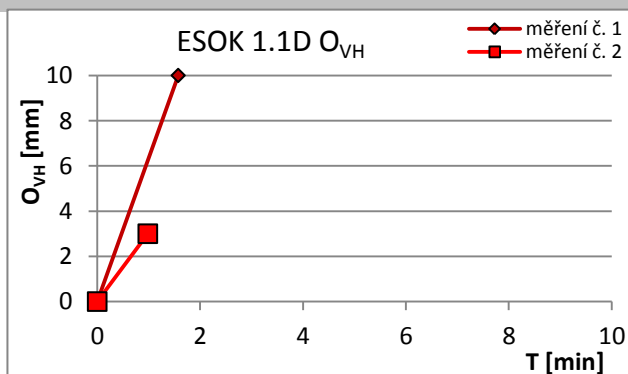
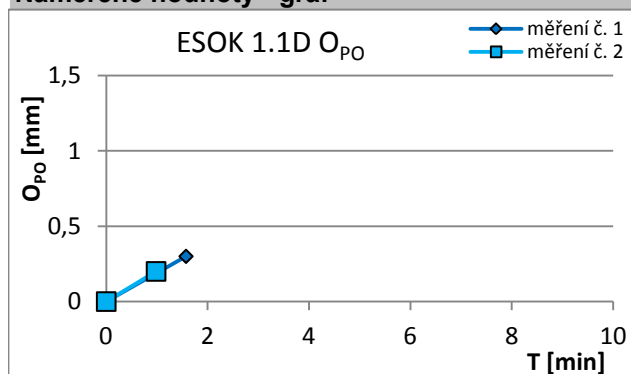
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
240	1,57	0,3	10



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
150	0,98	0,2	3

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

1,28 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **Blasocut BC 35 Kombi**

datum měření: 19.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

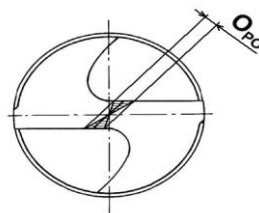
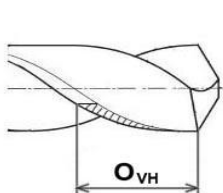
koeficient refrakce

1

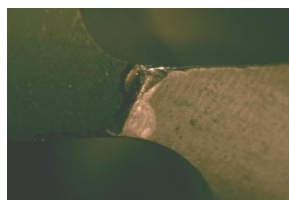
velikost na refraktometru

5

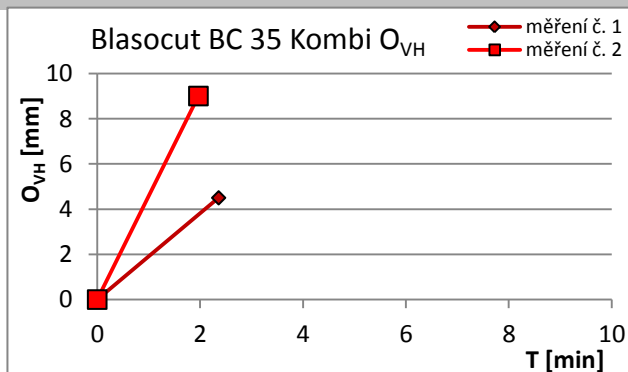
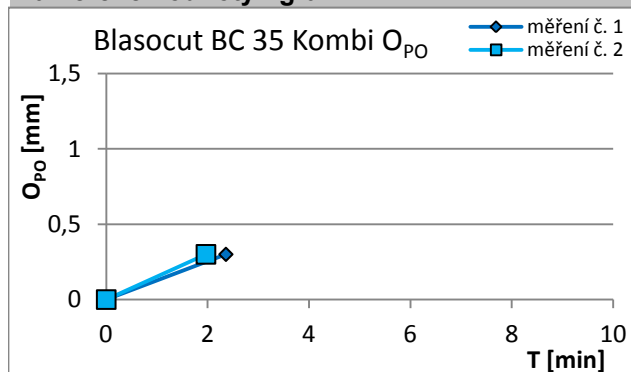
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
360	2,36	0,3	4,5



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
300	1,97	0,3	9

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

2,16 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**

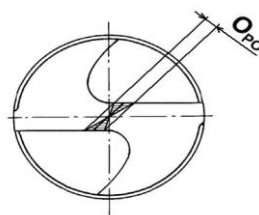
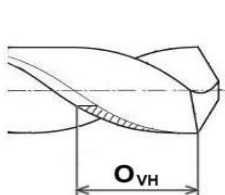
- procesní kapalina: **Voda**

- obráběný materiál: **14220.3**

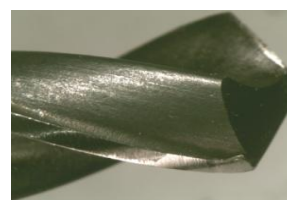
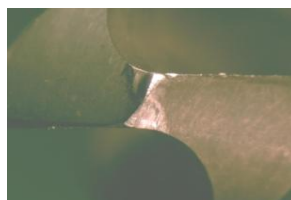
datum měření: 5.3.2013  
 měření provedl: prof. Popov,  
 Krejčí

**Podmínky měření**

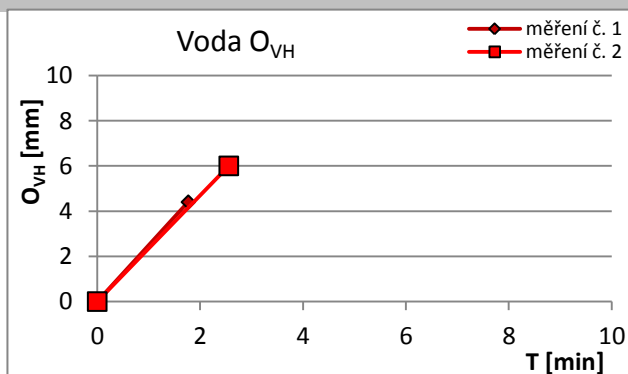
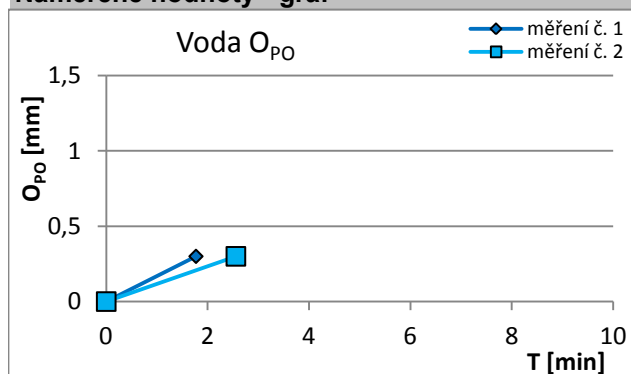
stroj frézka FNG 32  
 nástroj vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm  
 materiál nástroje HSS  
 řezné podmínky  $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$   
 požadovaná koncentrace procesní kapaliny -  
 koeficient refrakce -  
 velikost na refraktometru -  
 kritérium opotřebení opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$   
 opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$

**Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
270	1,77	0,3	4,4



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
390	2,56	0,3	6

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

2,16 [min]



Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **ESOK 1.0E**

datum měření: 13.2.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

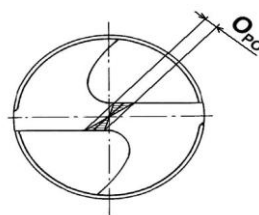
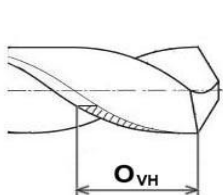
koeficient refrakce

3,1

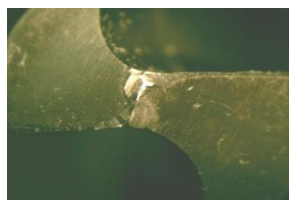
velikost na refraktometru

1,6

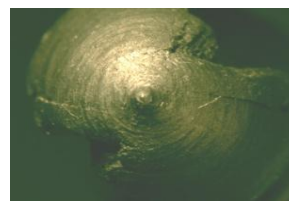
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

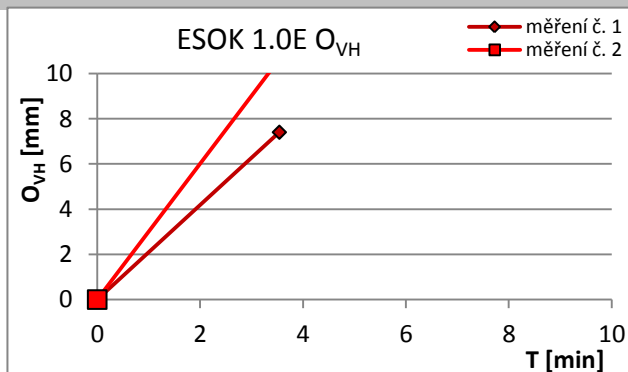
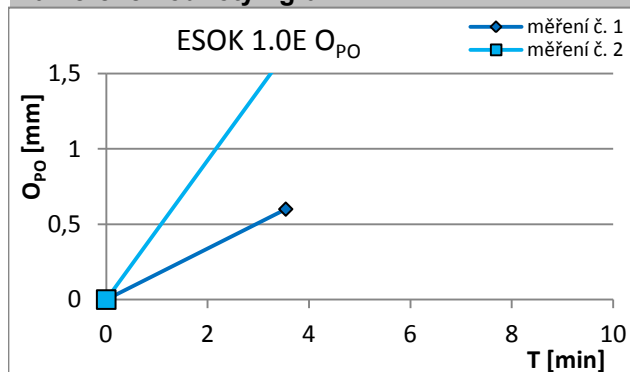
měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
540	3,54	0,6	7,4



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
660	4,33	2	13



pozn.: zničený vrták (informativní hodnoty)

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

3,93 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **ESOK 1.0D**

datum měření: 12.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

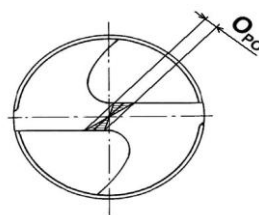
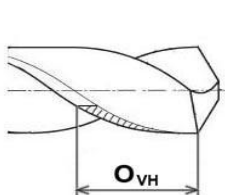
koeficient refrakce

3

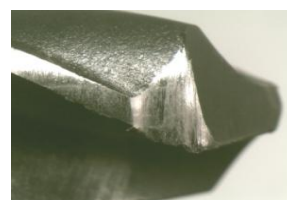
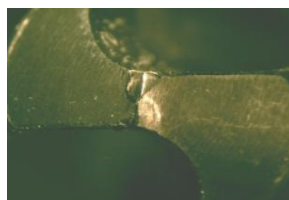
velikost na refraktometru

1,7

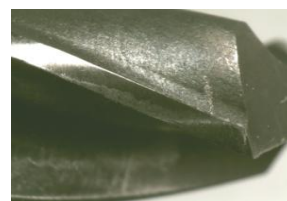
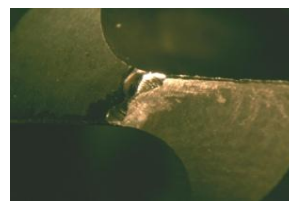
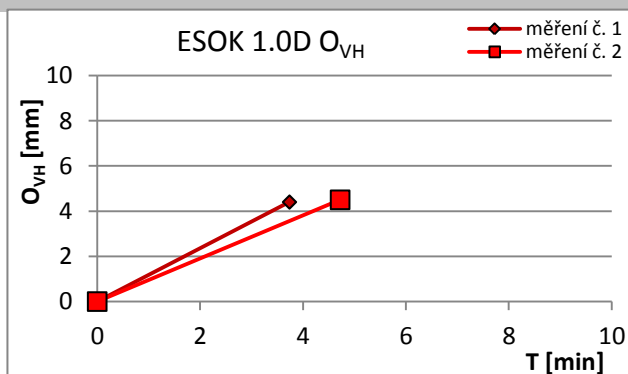
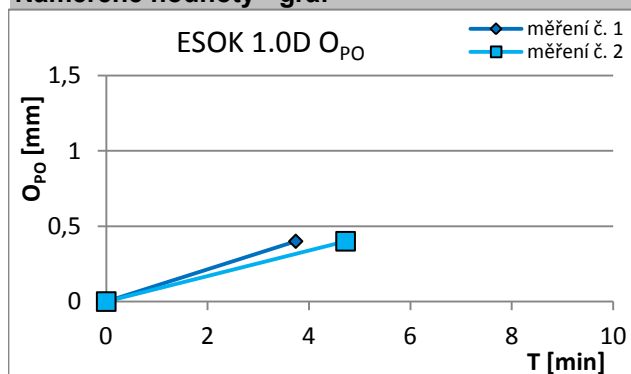
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
570	3,74	0,4	4,4



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
720	4,72	0,4	4,5

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

4,23 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **EOPS 1030**

datum měření: 12.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

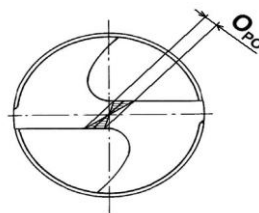
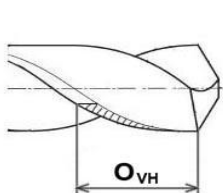
koeficient refrakce

1,1

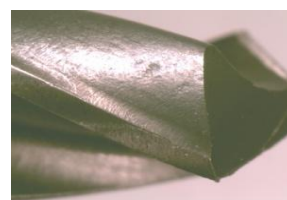
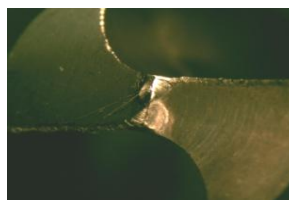
velikost na refraktometru

4,5

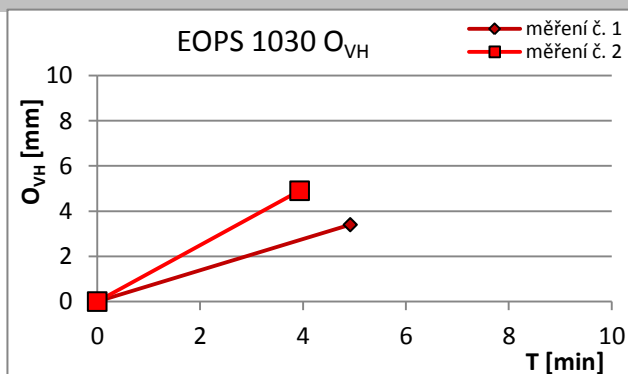
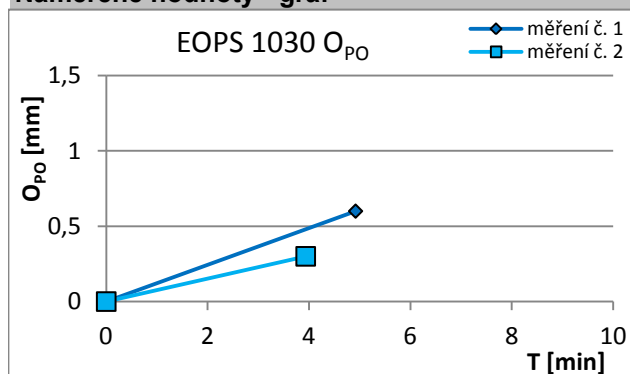
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
750	4,92	0,6	3,4



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
600	3,93	0,3	4,9

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

4,43 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **Houghton HOCUT 795-B**

datum měření: 19.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

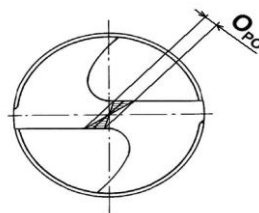
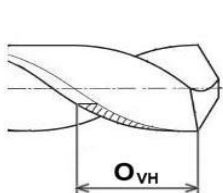
koeficient refrakce

1

velikost na refraktometru

5

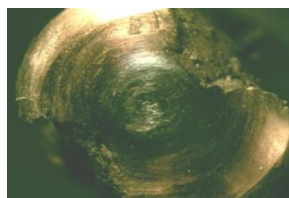
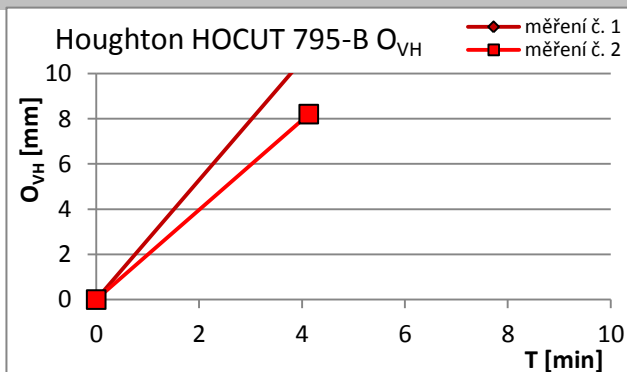
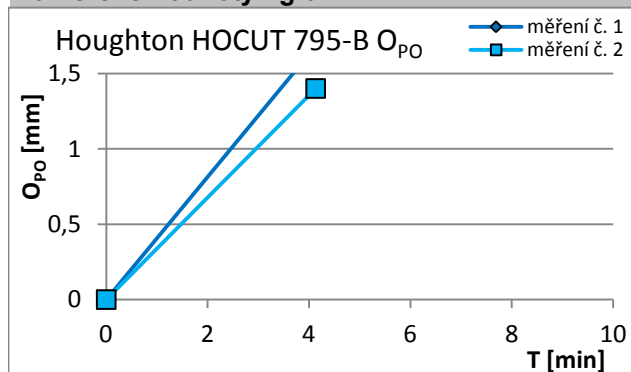
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
750	4,92	2	13

pozn.: zničený vrták (**informativní hodnoty**)

měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
630	4,13	1,4	8,2

 $O_{PO}$  $O_{VH}$ L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

4,52 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **Blaser Vasco 1000**

datum měření: 30.4.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

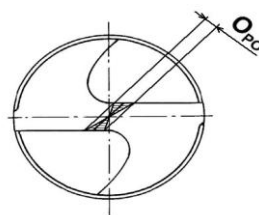
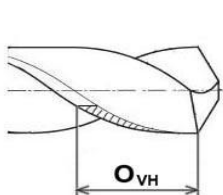
koeficient refrakce

1

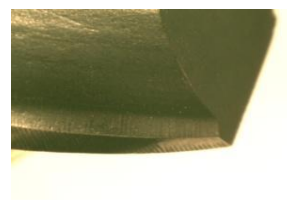
velikost na refraktometru

5

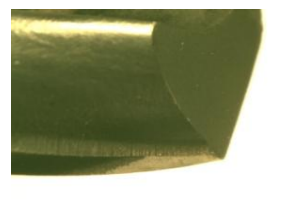
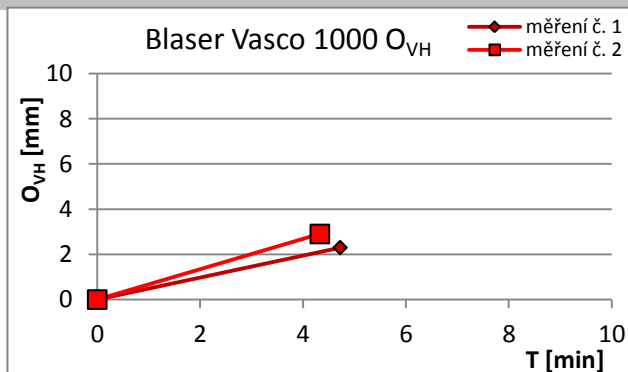
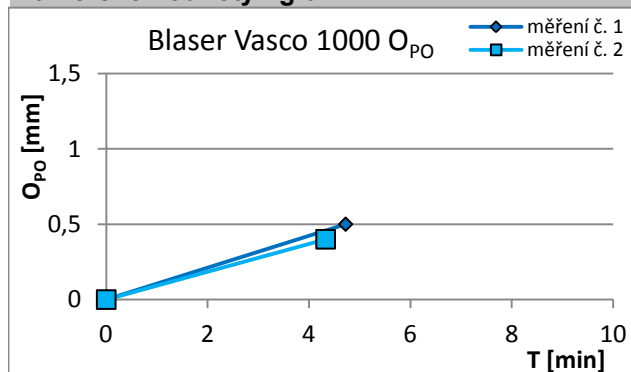
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
720	4,72	0,5	2,3



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
660	4,33	0,4	2,9

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

4,52 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **ESOK 1.1B**

datum měření: 5.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

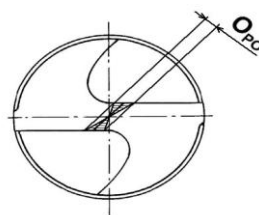
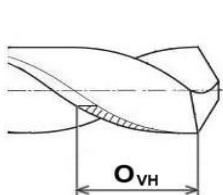
koeficient refrakce

2,1

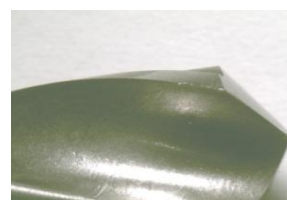
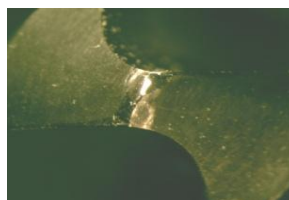
velikost na refraktometru

2,4

kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

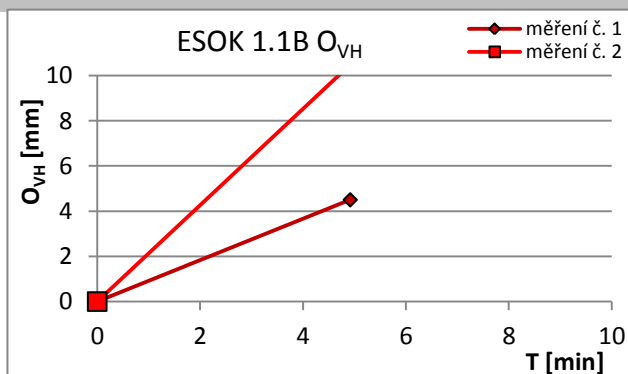
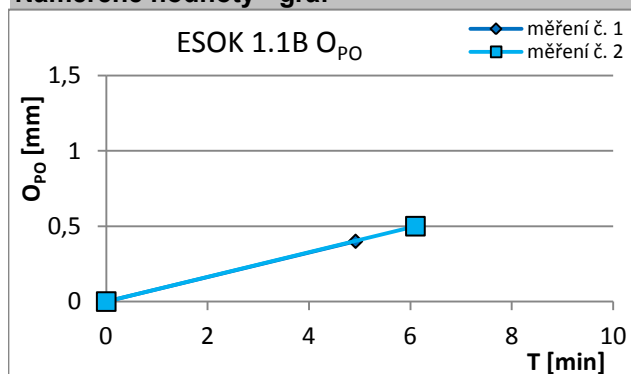
měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
750	4,92	0,4	4,5



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
930	6,10	0,5	13



pozn.: zničený vrták (informativní hodnoty)

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

5,51 [min]



Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

### Měření trvanlivost nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **Cimcool Cimstar 620**

datum měření: 19.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**

měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí

#### Podmínky měření

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

$v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

koeficient refrakce

1,4

velikost na refraktometru

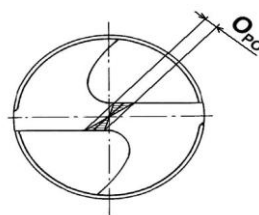
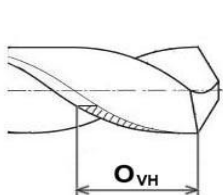
3,6

kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$

opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$

#### Schéma měření

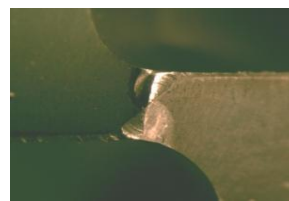


#### Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
930	6,10	0,5	5,5

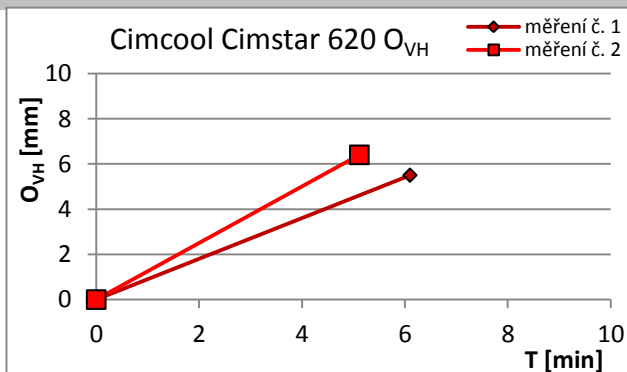
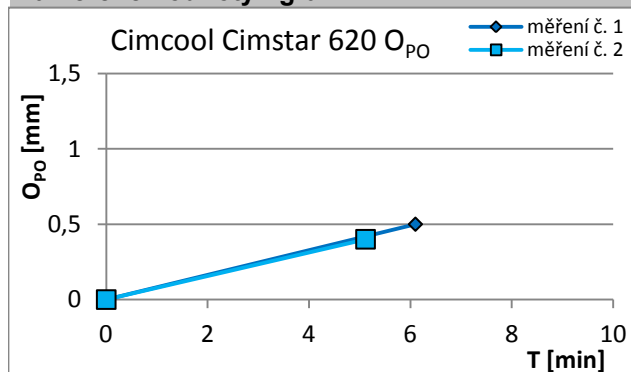


měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
780	5,11	0,4	6,4



L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří

#### Naměřené hodnoty - graf



#### Trvanlivost nástroje

Střední trvanlivost

5,61 [min]

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

**Měření trvanlivost nástroje při vrtání**- procesní kapalina: **ESOK 1.0F**

datum měření: 12.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí**Podmínky měření**

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

 $v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$ 

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

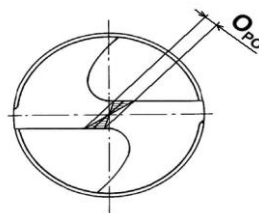
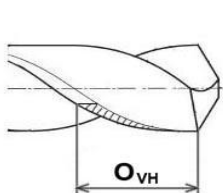
koeficient refrakce

3,1

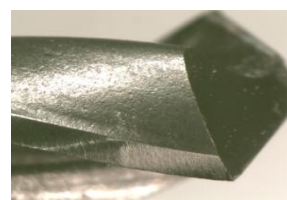
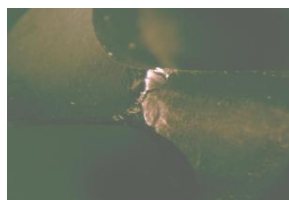
velikost na refraktometru

1,6

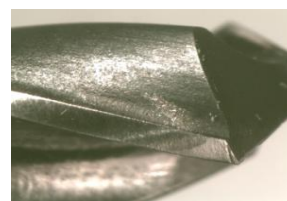
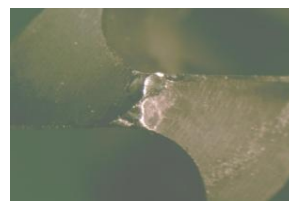
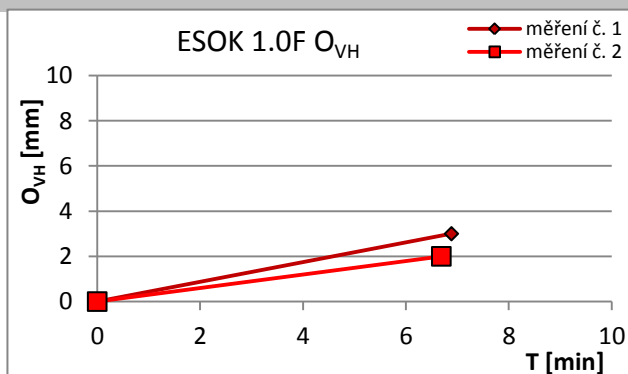
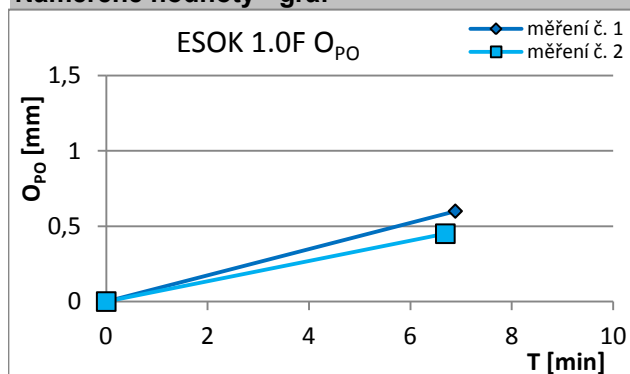
kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$ opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$ **Schéma měření****Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení**

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
1050	6,89	0,6	3



měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
1020	6,69	0,45	2

L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří**Naměřené hodnoty - graf****Trvanlivost nástroje**

Střední trvanlivost

6,79 [min]



Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

### Měření trvanlivost nástroje při vrtání

- procesní kapalina: **Blaser Grindex 10**

datum měření: 5.3.2013

- obráběný materiál: **14220.3**

měření provedl: prof. Popov,  
Krejčí

#### Podmínky měření

stroj

frézka FNG 32

nástroj

vrták s válcovou stopkou StimZet ČSN 221121, Ø D = 8 mm

materiál nástroje

HSS

řezné podmínky

$v_c = 76,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  $f_{ot} = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ;  $a_p = 4 \text{ mm}$

požadovaná koncentrace procesní kapaliny

5%

koeficient refrakce

1,6

velikost na refraktometru

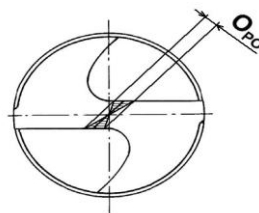
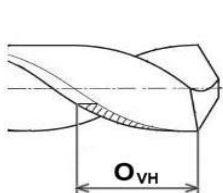
3,2

kritérium opotřebení

opotřebení vedlejšího hřbetu  $O_{VHkr} = 3 \text{ mm}$

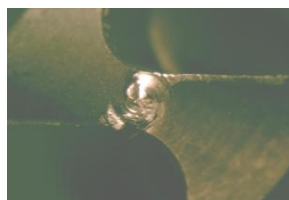
opotřebení příčného ostří  $O_{POkr} = 0,3 \text{ mm}$

#### Schéma měření

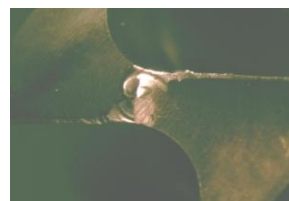


#### Naměřené hodnoty - tabulka; fotografie opotřebení

měření č. 1			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
1440	9,44	1	6,5

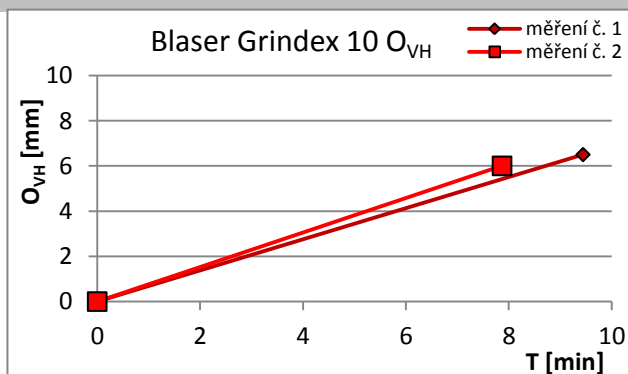
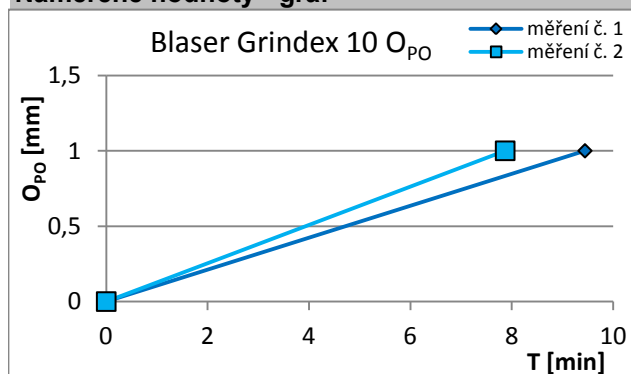


měření č. 2			
L [mm]	T [min]	$O_{PO}$ [mm]	$O_{VH}$ [mm]
0	0	0	0
1200	7,87	1	6



L - dráha nástroje do místa měření; T - trvanlivost;  $O_{VH}$  - opotřebení vedlejšího hřbetu;  $O_{PO}$  - opotřebení příčného ostří

#### Naměřené hodnoty - graf



#### Trvanlivost nástroje

Střední trvanlivost

8,66 [min]

## **příloha č. 2**

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

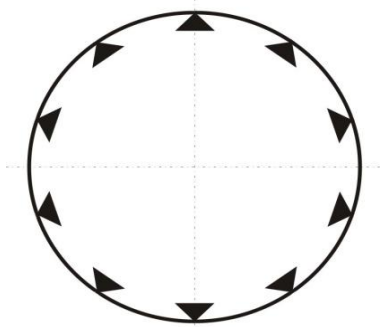
### Měření drsnosti povrchu

- procesní kapalina: **1.0D, 1.0E, 1.0F, 1.1B, 1.1D, EOPS 1030,** datum měření: **30.4.2013**  
**Blasocut BC 35 Kombi, Blaser Grindex 10,**  
**Cimcool Cimstar 620, Houghton HOCUT**  
**795-B, Blaser Vasco 1000, voda**

- obráběný materiál: **14 220.3**

měření provedl: **Krejčí**

#### Místa měření



#### Fotografie vzorků



#### Podmínky měření

Měření bylo provedeno dotykovou metodou pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SV-2000

Použité příslušenství: dotek č. 12AAB404 - standardní dotek (rádius 5μm, vrcholový úhel 90°) zobrazený na fotografii vpravo



#### Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka

Voda	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	2,32	2,29	1,95	2,02	1,95	2,20	2,08	2,71	1,84	2,35	<b>2,17</b>	<b>0,19</b>
Rz [μm]	12,02	13,05	12,43	12,17	13,05	12,96	11,70	15,96	11,20	13,68	<b>12,82</b>	<b>1,00</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	5,44	6,47	5,75	5,76	6,32	10,13	4,51	7,36	4,42	5,91	<b>6,21</b>	<b>1,23</b>

EOPS 1030	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,29	1,49	1,38	1,37	1,47	1,50	1,24	1,40	1,40	1,46	<b>1,40</b>	<b>0,06</b>
Rz [μm]	7,74	9,16	7,70	8,22	8,70	7,46	7,25	7,40	7,94	8,33	<b>7,99</b>	<b>0,46</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	2,98	4,31	2,62	3,75	3,53	2,67	2,62	2,38	2,32	4,95	<b>3,21</b>	<b>0,67</b>

ESOK 1.0D	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,19	1,75	1,14	1,35	1,58	1,85	1,94	2,43	1,91	1,67	<b>1,68</b>	<b>0,29</b>
Rz [μm]	8,49	9,70	7,82	7,70	8,59	10,40	10,48	11,77	12,51	9,16	<b>9,66</b>	<b>1,23</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,50	3,05	2,77	2,25	3,39	4,66	4,09	6,56	6,69	4,79	<b>4,18</b>	<b>1,14</b>

ESOK 1.0E	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,03	1,46	2,04	1,67	1,03	1,30	2,04	1,75	1,84	1,39	<b>1,55</b>	<b>0,28</b>
Rz [μm]	7,80	9,51	12,99	9,24	7,27	7,22	10,80	12,15	11,97	7,95	<b>9,69</b>	<b>1,63</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	16,13	3,70	4,69	4,73	5,17	4,86	3,93	5,93	4,15	3,92	<b>5,72</b>	<b>2,80</b>

ESOK 1.0F	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,35	1,02	1,76	1,37	1,60	1,82	1,74	1,50	1,34	1,31	<b>1,48</b>	<b>0,19</b>
Rz [μm]	9,30	6,36	9,25	7,52	9,75	10,94	10,26	9,53	8,85	8,29	<b>9,00</b>	<b>1,01</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	2,39	2,00	2,56	2,68	2,88	3,87	2,40	1,57	1,81	3,02	<b>2,52</b>	<b>0,50</b>

ESOK 1.1B	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,11	0,79	1,47	0,94	0,99	1,09	1,03	1,08	1,08	1,35	<b>1,09</b>	<b>0,15</b>
Rz [μm]	7,51	4,75	9,38	5,53	6,86	6,59	6,79	6,50	6,33	7,16	<b>6,74</b>	<b>0,92</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,79	2,53	3,41	3,01	1,85	3,77	1,86	3,24	2,46	2,83	<b>2,88</b>	<b>0,53</b>

ESOK 1.1D	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	2,67	2,46	1,22	2,41	2,24	2,42	1,66	1,84	2,06	1,24	<b>2,02</b>	<b>0,39</b>
Rz [μm]	14,27	14,05	8,72	13,74	11,98	12,55	9,64	12,41	11,29	9,16	<b>11,78</b>	<b>1,53</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	4,90	2,49	3,99	6,65	6,33	6,04	2,98	5,13	8,35	4,04	<b>5,09</b>	<b>1,36</b>

Blasocut BC 35 Kombi	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,25	1,61	1,60	1,49	1,46	1,58	1,62	1,55	1,73	1,60	<b>1,55</b>	<b>0,10</b>
Rz [μm]	8,06	11,80	8,20	11,26	8,95	9,14	11,26	9,58	10,83	10,75	<b>9,98</b>	<b>1,03</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,48	4,80	4,64	4,32	4,38	5,59	7,96	4,97	7,45	3,50	<b>5,11</b>	<b>1,14</b>

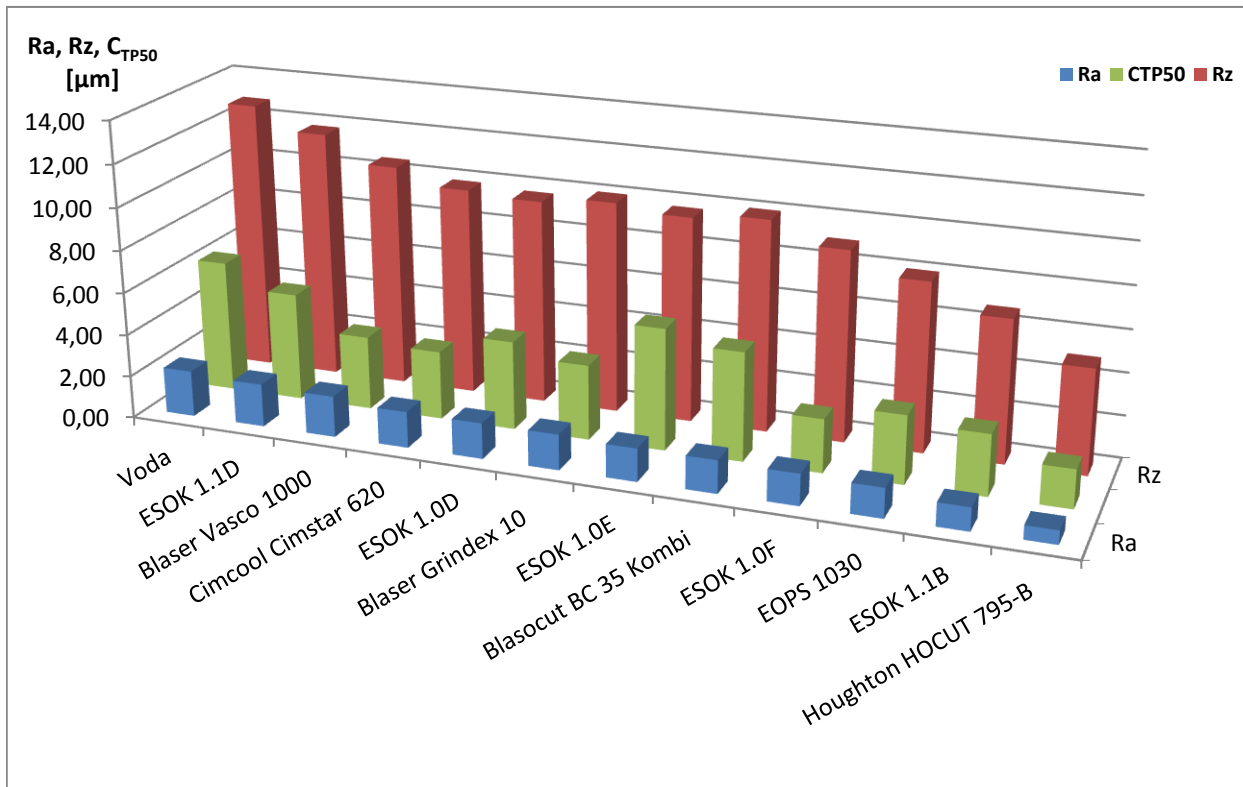
Cimcool Cimstar 620	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,59	1,84	1,73	1,84	1,74	1,16	1,84	1,47	1,94	1,91	<b>1,70</b>	<b>0,18</b>
Rz [μm]	8,62	10,62	10,54	10,05	9,77	7,16	11,36	9,27	11,22	9,71	<b>9,83</b>	<b>0,95</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	2,07	2,46	5,41	3,01	2,87	3,14	4,00	3,24	2,61	3,48	<b>3,23</b>	<b>0,71</b>

Blaser Grindex 10	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,84	1,57	1,59	2,37	1,59	2,06	1,35	1,41	1,48	1,46	<b>1,67</b>	<b>0,24</b>
Rz [μm]	10,89	9,46	10,65	12,99	8,78	12,85	7,81	8,47	8,01	9,99	<b>9,99</b>	<b>1,40</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	4,01	3,19	3,60	5,83	3,85	2,67	3,18	2,23	1,99	4,77	<b>3,53</b>	<b>0,88</b>

Houghton HOCUT 795-B	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,77	0,32	0,46	0,56	1,03	0,66	0,85	0,59	0,73	0,50	<b>0,65</b>	<b>0,16</b>
Rz [μm]	4,62	3,56	3,39	5,28	6,37	4,95	7,26	4,88	5,02	4,26	<b>4,96</b>	<b>0,89</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	3,65	0,59	1,55	0,97	3,32	1,70	1,78	1,41	1,48	1,73	<b>1,82</b>	<b>0,72</b>

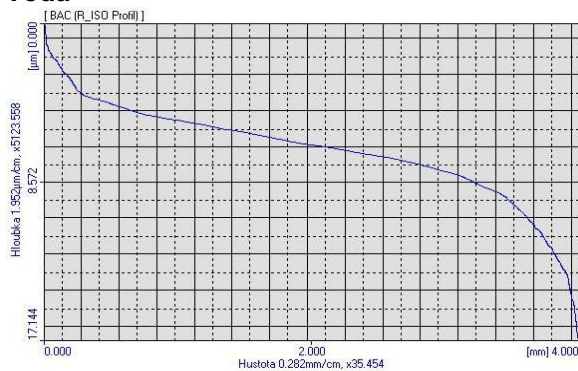
Blaser Vasco 1000	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	1,65	1,83	1,69	1,82	2,04	1,86	2,28	2,51	1,97	1,72	<b>1,94</b>	<b>0,21</b>
Rz [μm]	9,90	9,28	9,65	11,18	11,76	9,22	10,92	12,26	11,75	9,65	<b>10,56</b>	<b>0,86</b>
C <sub>TP50</sub> [μm]	2,23	1,83	2,02	3,28	3,43	4,07	4,67	3,79	6,52	2,86	<b>3,47</b>	<b>1,06</b>

## Naměřené hodnoty - graf

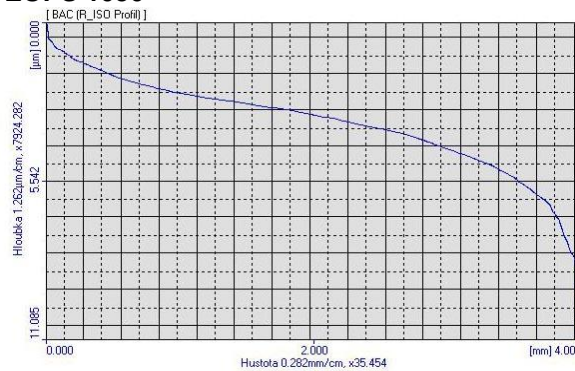


## Vzorové křivky materiálového podílu

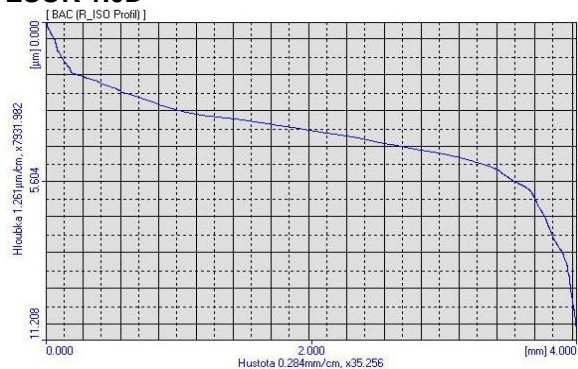
### Voda



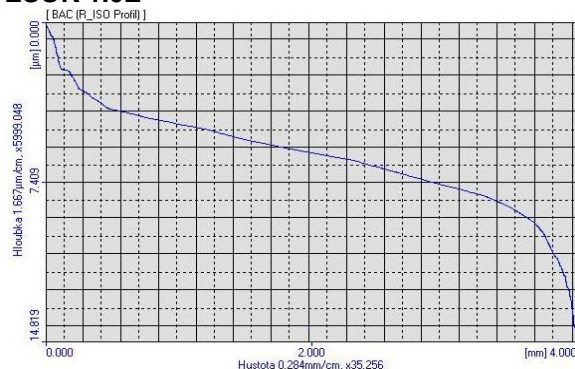
### EOPS 1030



### ESOK 1.0D

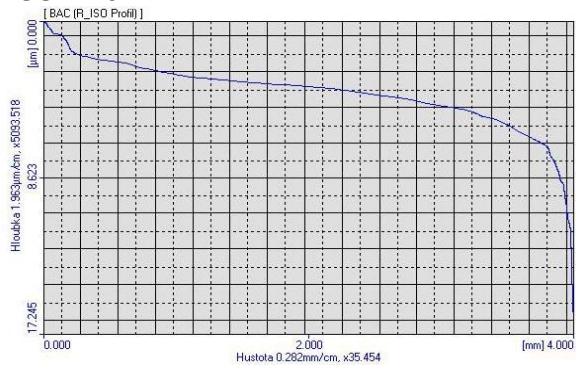


### ESOK 1.0E

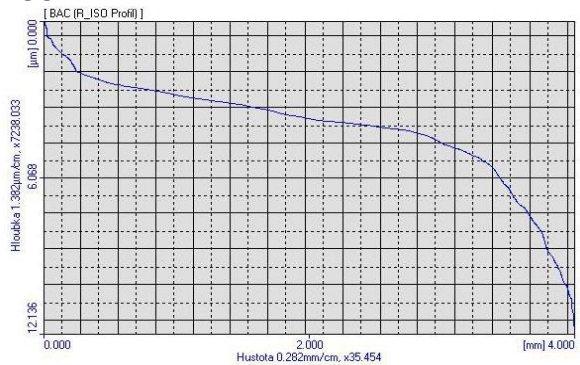




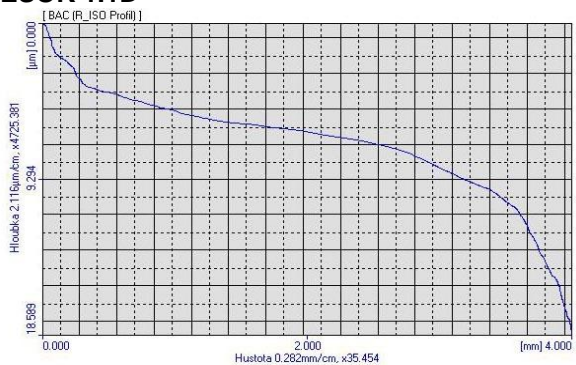
### ESOK 1.0F



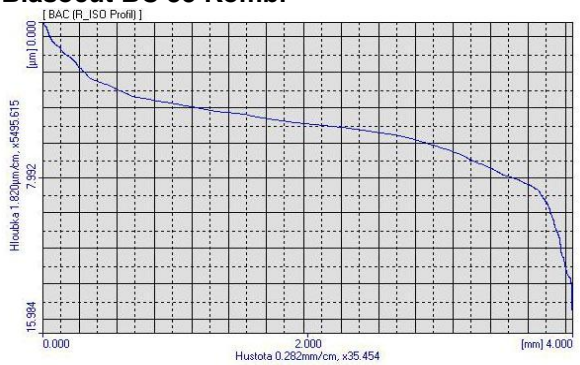
### ESOK 1.1B



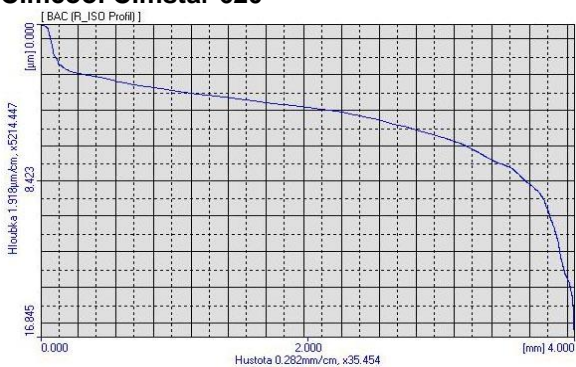
### ESOK 1.1D



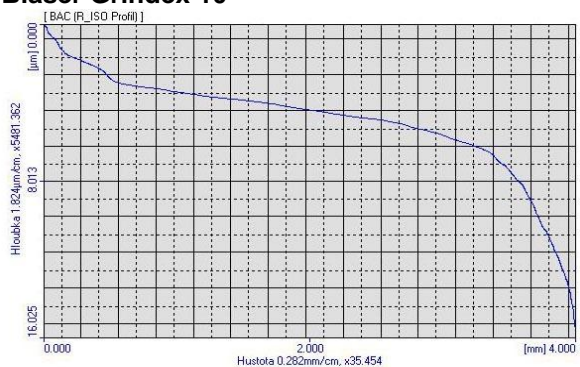
### Blasocut BC 35 Kombi



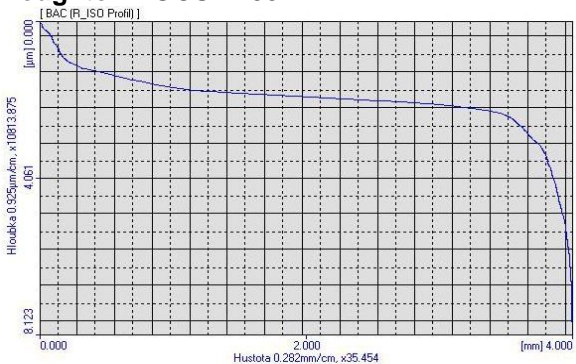
### Cimcool Cimstar 620



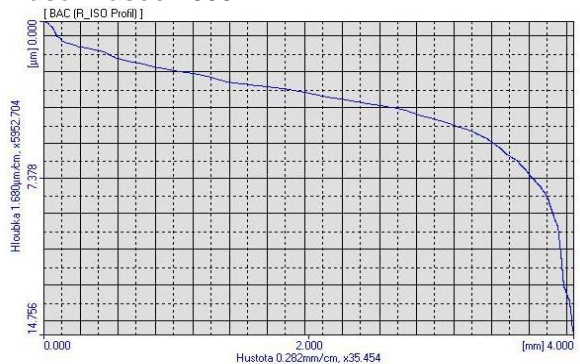
### Blaser Grindex 10



### Houghton HOCUT 795-B



### Blaser Vasco 1000



## **příloha č. 3**

Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukční oceli

### Třísky při obrábění vrtáním

- procesní kapalina: **1.0D, 1.0E, 1.0F, 1.1B, 1.1D, EOPS 1030, Blasocut BC 35 Kombi, Blaser Grindex 10, Cimcool Cimstar 620, Houghton HOCUT 795-B, Blaser Vasco 1000, voda** datum měření: 14.3.2013

- obráběný materiál: **14 220.3**

měření provedl: **Krejčí**

**Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny ESOK 1.0D**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny ESOK 1.0E**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny ESOK 1.0F**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny ESOK 1.1B**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny ESOK 1.1D**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny EOPS 1030**





**Fotografie třísky při obrábění s přívodem  
kapaliny Blaser Grindex 10**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem  
kapaliny Blasocut BC 35 Kombi**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem  
kapaliny Cimcool Cimstar 620**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem  
kapaliny Houghton HOCUT 795-B**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem  
kapaliny Blaser Vasco 1000**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem  
kapaliny Voda**



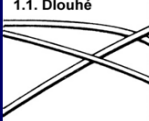
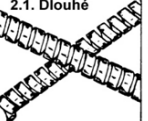
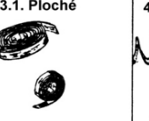
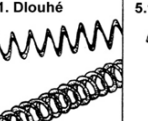
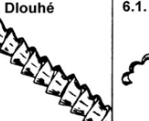
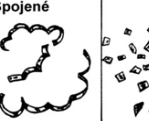
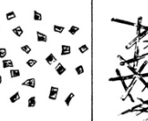


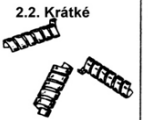

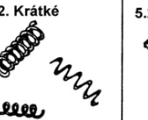
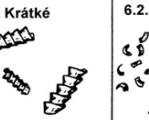
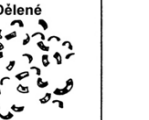
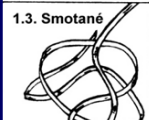
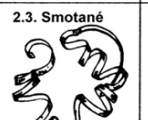
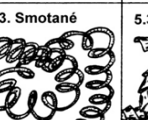
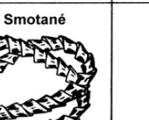
#### **Podmínky měření**

Fotografie třísek byly pořízeny v metrologické laboratoři KOM na pracovišti vizuální kontroly přístrojem Canon EOS 1000D.

**Zjištěné údaje o druhu odebrané třísky - tabulka**

Vrtání	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
ESOK 1.0D	Kuželovitá šroubovitá krátká
ESOK 1.0E	Kuželovitá šroubovitá krátká
ESOK 1.0F	Kuželovitá šroubovitá krátká
ESOK 1.1B	Kuželovitá šroubovitá dlouhá
ESOK 1.1D	Kuželovitá šroubovitá krátká
EOPS 1030	Kuželovitá šroubovitá krátká

Vrtání	
Procesní kapalina	Tvar vzniklé třísky
Blaser Grindex 10	Kuželovitá šroubovitá krátká
Blasocut BC 35 Kombi	Kuželovitá šroubovitá krátká
Cimcool Cimstar 620	Kuželovitá šroubovitá krátká
Houghton HOCUT 795-B	Kuželovitá šroubovitá krátká
Blaser Vasco 1000	Kuželovitá šroubovitá krátká
Voda	Kuželovitá šroubovitá krátká

1. Stuzkové * třísky	2. Vinuté * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovité * třísky	5. Kuželovité šroubovité * třísky	6. Obloukovité ♦ třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

**Poděkování**

Závěrem bych rád poděkoval panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady, věcné připomínky a ochotu při vedení mé bakalářské práce. Dále velice děkuji panu prof. Ing. Alexey Popovovi, DrSc. za spolupráci při realizaci experimentu v laboratoři třískových technologií i mimo ni, děkuji také za často poskytnuté konzultace. Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Karáskovi za ukázkou funkce drsnoměru a mikroskopu v metrologické laboratoři.

V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu a trpělivost během studia na vysoké škole.